**Avaliação clínica e laboratorial de resina composta em função da
fotoativação com diferentes fontes de luz e densidades de potência**

Ana Raquel Benetti

Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Bauru, Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Odontologia, área de Dentística.

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo
Batista Franco**

**Bauru
2007**

Benetti, Ana Raquel

B435a Avaliação clínica e laboratorial de resina composta em função da fotoativação com diferentes fontes de luz e densidades de potência / Ana Raquel Benetti. Bauru, 2007.

130 p. : il. ; 31 cm.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Batista Franco

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

Comitê de Ética da Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo. Projeto aprovado em: 23 de fevereiro de 2005.

ANA RAQUEL BENETTI

- 19/05/1979 Nascimento, São José dos Campos – SP.
- 1997 – 2000 Curso de Odontologia, na Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo.
- 2001 Programa de Extensão Universitária em Odontopediatria na Universidade Federal do Paraná.
- 2001 – 2003 Curso de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora, em nível de Mestrado, na Faculdade de Odontologia de São José dos Campos – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- 2003-2007 Curso de Pós-Graduação em Dentística, em nível de Doutorado, na Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo, com estágio na Faculdade de Ciências de Saúde - Universidade de Copenhague, Dinamarca.

**Aos meus pais e
irmãos com carinho.**

Agradecimentos

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Vera e Luiz, e meus irmãos, Davi e André, e familiares pelo apoio nos bons e maus momentos.

Ao meu namorado, Adilson, não somente pela colaboração com o trabalho, mas também pelo incentivo constante.

Agradecimentos especiais ao meu orientador, Eduardo Batista Franco, meu tutor desde a graduação. Sempre foi prestativo e incentivador da dedicação à carreira acadêmica. A um mestre verdadeiro às suas convicções, minha sincera gratidão. As lições que aprendi com ele guardarei para toda a minha carreira.

Aos meus amigos, que sempre torcem por mim. Muito obrigada, Lígia e Carla, pelo incentivo nos momentos de desânimo, pela alegria nos momentos de festa, pelo simples compartilhar. Ao Leonardo Fernandes da Cunha e Eduardo Jacomino Franco, pelo trabalho e ótima convivência. Ao Odirlei Arruda Malaspina e à Tatiana Salles, pelos ótimos momentos de descontração. À Ana Carolina Francischone, Angélica Reis Hannas, Cássia Rubira e Juan Rommel Medina Valdívia, pela amizade e diversão.

Agradeço a todos os meus colegas de curso, que muito me ensinaram. Dedico agradecimentos especiais a Adilson Yoshio Furuse, Sérgio Kiyoshi Ishikiriama, Odirlei Arruda Malaspina e Wagner Bassegio, pela ajuda no desenvolvimento da etapa clínica.

À Faculdade Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, pela minha formação em Odontologia, onde aprendi a avaliar, questionar e sempre buscar novos conhecimentos. Agradeço aos professores e funcionários, em

especial do Departamento de Dentística e Materiais Dentários. Meus sinceros agradecimentos à Ângela Maria Amantini, Benedito Bueno de Moura, Clélia Rita de Cássia Capossi dos Santos, Elisabeth dos Santos Cariani, Karen de Azevedo, Nelson Queiroz, Wilson Fiorillo Junior e Zuleica Valderez Roberto. Além de responsáveis pela minha formação, prestaram auxílio fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos professores da Disciplina de Dentística, Aquira Ishikiriama, Carlos Eduardo Francischone, José Carlos Pereira, Maria Fidela de Lima Navarro, Maria Teresa Atta, Rafael Francisco Lia Mondelli e Ricardo Marins de Carvalho, grandes incentivadores e responsáveis pela minha formação científica.

A José Mondelli e sua esposa, Marisa Lia Mondelli, que fizeram de sua casa também a minha.

Aos professores e funcionários do Departamento de Materiais Dentários da Universidade de Copenhagen, Anne Peutzfeldt, Erik Asmussen, Erik Christian Munksgaard, Liselotte Larsen, Vivi Rønne e Birthe Dahl, que muito contribuíram para o desenvolvimento da etapa laboratorial deste trabalho e cuidaram do meu bem-estar na Dinamarca.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, que muito contribuíram na minha formação pessoal e profissional, especialmente minha orientadora, Márcia Carneiro Valera.

À Coordenação para Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro no país e no exterior (processo BEX 190805-7).

A todos os funcionários do Serviço de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Odontologia de Bauru, sempre dispostos a ajudar, agradeço pelas orientações precisas.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Propriedades da resina composta.....	8
2.1.1 Dureza e grau de amolecimento em etanol.....	8
2.1.2 Grau de conversão, profundidade de polimerização e estresse de contração.....	20
2.1.3 Desgaste.....	34
2.2 Comportamento clínico da resina composta.....	48
3 PROPOSIÇÃO	58
4 MATERIAL E MÉTODOS	60
4.1 Etapa laboratorial.....	61
4.1.1 Grau de conversão.....	62
4.1.2 Dureza e grau de amolecimento em etanol.....	63
4.1.3 Desgaste.....	64
4.1.3.1 Desgaste de três corpos pelo método da ACTA.....	64
4.1.3.2 Desgaste por escovação.....	67
4.1.4 Planejamento estatístico da etapa laboratorial.....	71

4.2 Etapa clínica.....	71
4.2.1 Avaliação clínica direta.....	73
4.2.2 Planejamento estatístico da etapa clínica.....	76
5 RESULTADOS	77
5.1 Dados laboratoriais.....	78
5.2 Dados clínicos.....	79
6 DISCUSSÃO	83
6.1 Etapa laboratorial.....	90
6.1.1 Grau de conversão.....	90
6.1.2 Dureza e grau de amolecimento em etanol.....	92
6.1.3 Desgaste.....	95
6.2 Comportamento clínico da resina composta.....	100
7 CONCLUSÕES	111
ANEXO	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ABSTRACT	129

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho clínico e laboratorial de uma resina composta, considerando diferentes fontes de luz e densidades de potência, mantendo-se padronizada a densidade total de energia. O grau de conversão da resina composta foi determinado através de espectroscopia por transformada de Fourier. O grau de amolecimento em etanol foi obtido pela determinação da dureza Wallace, antes e após o armazenamento da resina composta em etanol a 75%. O desgaste foi mensurado por dois métodos: o teste da ACTA e o teste de escovação simulada. Paralelamente, investigou-se o desempenho clínico de restaurações de resina composta em dentes posteriores, submetidas aos mesmos protocolos de fotoativação. Restaurações de classe I de resina composta foram confeccionadas e fotoativadas por lâmpada de quartzo-tungstênio ou diodo emissor de luz a 300 mW/cm², durante 40 segundos, ou a 600 mW/cm², durante 20 segundos. As restaurações foram avaliadas, imediatamente e após 6 e 12 meses, por dois examinadores calibrados, de acordo com os critérios modificados de Ryge. Os dados laboratoriais foram submetidos à análise de variância a dois critérios e teste de comparações múltiplas de Newman-Keuls, ou ao teste t-pareado. Os dados clínicos foram analisados pelos testes Kappa, Fisher e McNemar ($\alpha = 0,05$). Não foram constatadas diferenças significantes quanto aos diferentes protocolos no grau de conversão, no grau de amolecimento em etanol e no desgaste produzido pelo método da ACTA ($p > 0,05$). Para o teste de desgaste por escovação simulada, a fotoativação com diodos emissores de luz a 300 mW/cm², durante 40 segundos, resultou em maior desgaste que os demais protocolos testados ($p < 0,05$). Adicionalmente, não foram observadas diferenças significantes quanto aos diferentes protocolos de fotoativação no desempenho clínico das restaurações, ao final de um ano de avaliação ($p > 0,05$).

Palavras-chave: Resinas compostas. Luz. FTIR. Dureza. Desgaste de restauração dentária. Ensaio clínico.

Introdução

1 INTRODUÇÃO

O estágio atual do emprego de resinas compostas na Odontologia Restauradora tornou-se possível graças ao advento do condicionamento ácido em esmalte.¹⁸ Da mesma forma, contribuíram os trabalhos de BOWEN, 1956,¹³ pelo desenvolvimento do protótipo das resinas compostas atuais.

As primeiras resinas compostas apresentavam, unicamente, ativação química, obtida pela combinação de uma pasta base e uma catalisadora. O iniciador da reação de polimerização era o peróxido de benzofila, que ativava uma amina terciária a formar radicais livres e iniciar o processo de polimerização.⁴² Este sistema apresentava vantagem de estabelecer a conversão uniforme do material, mas tinha como inconvenientes o tempo de trabalho limitado e a incorporação de bolhas, durante sua manipulação, o que poderia prejudicar as propriedades do material.⁴²

Buscando contornar estas deficiências, foi desenvolvido o sistema de fotoativação por luz ultravioleta, para indução da polimerização das resinas compostas. Este sistema incorporou ao material um agente fotossensível, que inicia o processo de polimerização, a partir do contato com uma energia luminosa.⁴² Desta forma, foi possível tornar o material unicomponente e propiciar o início da reação de polimerização. Desde a introdução do sistema de fotoativação de materiais resinosos, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas, a fim de se determinar a fonte de luz e a técnica mais apropriada para fotoativar o material restaurador. O objetivo da fotopolimerização é obter alta conversão do material, de maneira uniforme e em profundidade, associada ao baixo estresse de contração, garantindo, assim, a longevidade da restauração.²⁷

O desempenho dos aparelhos utilizados para fotoativação de materiais resinosos tem se aperfeiçoado durante as últimas décadas. Dentre os diversos aparelhos atualmente disponíveis, aqueles que contêm lâmpadas de quartzo-tungstênio (QTH) ou diodos emissores de luz (LED) são mais

comumente utilizados. A tecnologia LED mostra-se bastante promissora devido às vantagens que apresenta, quando comparada à lâmpada QTH: emite comprimentos de onda na faixa de absorção da canforquinona, dispensando o uso filtros, apresenta baixo consumo de energia e mínima geração de calor, é resistente ao manuseio e possui maior vida útil.⁷⁹

No entanto, a fotoativação com aparelhos de LED tem sido motivo de discussão. Os primeiros aparelhos de LED emitiam uma densidade de potência insuficiente para propiciar uma adequada polimerização. O inadequado desempenho resultante dos aparelhos LED de primeira geração dava-se pela emissão de baixas densidades de potência, o que resultava, conseqüentemente, em propriedades mecânicas inferiores, quando comparados às lâmpadas halógenas. A partir do aperfeiçoamento desta tecnologia, foram desenvolvidos os aparelhos de segunda geração. Propriedades como profundidade de polimerização, resistência à compressão, resistência flexional e dureza obtidos pela fotoativação com aparelhos LED, de 350 a 831 mW/cm², mostraram-se equivalentes aos resultados obtidos pela fotoativação com lâmpadas halógenas.^{8, 48, 60, 94}

Percebe-se, portanto, que à medida que os aparelhos LED passaram a emitir densidades de potência mais elevadas, seu desempenho tornou-se comparável ao dos aparelhos de lâmpada halógena. Uma das limitações, no entanto, persistia nestes aparelhos: a emissão de uma faixa espectral estreita, com pico máximo próximo ao pico de absorção da canforquinona. A partir da evolução da tecnologia LED, surgiram os aparelhos de terceira geração, capazes de emitir comprimentos de onda numa faixa espectral mais ampla, permitindo, também, a sensibilização de outros agentes fotoiniciadores além da canforquinona.⁷⁶

As diferentes fontes de luz podem influenciar na cinética de polimerização,²⁶ porque apresentam diferenças na emissão espectral. A determinação do protocolo de fotoativação ideal vem sendo buscada, incessantemente, em laboratórios de diferentes centros de pesquisa nacionais

e internacionais. No entanto, este objetivo ainda não foi alcançado, devido à complexidade do processo de polimerização das resinas compostas.

Dentre as diversas propriedades estudadas, o desgaste resultante da fotoativação com os aparelhos LED ainda tem sido ponto de discussão. ASENJO-MARTINEZ, 2004,⁶ observou que espécimes fotoativados com aparelho LED a 300 mW/cm^2 resultaram em maior desgaste, quando comparados a espécimes fotoativados com lâmpada halógena emitindo a mesma densidade de potência. Segundo este autor, somente quando regulado para emitir 600 mW/cm^2 , o aparelho LED resultou em desgaste semelhante à lâmpada halógena. NUNES, 2006,⁶³ por outro lado, observou que o desgaste da resina composta foi influenciado, significativamente, pela densidade de potência de 300 mW/cm^2 , quando baixa densidade de energia foi utilizada (6 J/cm^2), tanto para a lâmpada halógena como para o aparelho LED.

De acordo com DAVIDSON; DE GEE,²⁷ altas densidades de potência, *per se*, não são necessárias para promover a polimerização adequada de restaurações de resina composta. DAVIDSON-KABAN *et al.*²⁹ demonstraram que densidades de potência superiores a 350 mW/cm^2 podem resultar na mesma conversão final que a irradiação com 700 mW/cm^2 , caracterizando que, de fato, a energia total emitida pelo aparelho parece ser mais importante no comportamento do material. YOON *et al.*¹⁰⁶ constataram o mesmo grau de conversão, em até 2 mm de profundidade, quando a energia total emitida por aparelhos LED, arco de plasma, ou quartzo-tungstênio se manteve constante. O conceito de dose total de energia também foi comprovado por HALVORSON *et al.*,^{44, 45} que sugeriram, inclusive, um perfil universal de polimerização, pensando-se em dose total de energia aplicada, a partir da correlação entre o tempo de exposição e densidade de potência.

A fim de compreender o efeito da densidade de potência sobre as propriedades da resina composta, o cálculo da dose total de energia emitida parece ser mais apropriado e tem sido adotado em diversos trabalhos recentes.^{20, 70, 76, 77} Embora esta idéia tenha inicialmente indicado uma mudança nos conceitos de fotoativação de materiais resinosos, logo se

percebeu que o princípio de dose total de energia não poderia ser aplicado a todas as situações. PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005,⁷⁰ comprovaram por experimentação que, para uma mesma densidade de energia, diferentes combinações entre densidade de potência e tempo de exposição podem ser decisivas no grau de conversão, resistência e módulo flexionais. Os autores observaram que, para densidades de potência clinicamente relevantes, não somente a dose total de energia, mas também a densidade de potência utilizada pode influenciar as propriedades da resina composta. A utilização de densidades de potência muito elevadas, para um dado nível de energia, resulta na diminuição do grau de conversão e, conseqüentemente, da contração de polimerização, não obstante inferir na aceleração da taxa de contração nos primeiros segundos de fotoativação.^{10, 70} Nesse sentido, a utilização de diferentes densidades de potência, considerando-se um mesmo nível de energia, modifica a razão de polimerização, o que, conseqüentemente, se reflete nas propriedades dos polímeros formados.

Assim, considerando as diferenças encontradas entre as propriedades resultantes da fotoativação com as diferentes fontes de luz ou densidades de potência, justifica-se a necessidade de mais estudos sobre o tema. Sabe-se que diversos fatores estão envolvidos no desempenho dos materiais restauradores. Apesar de haver diversos trabalhos que investigam o efeito de diferentes combinações entre densidade de potência e tempo de exposição para o mesmo modo de ativação, ou o efeito de diferentes modos de ativação nas propriedades dos materiais, ainda se questiona como estas propriedades se relacionam e como melhorar o desempenho geral dos materiais resinosos.

Uma vez que a densidade de ligações cruzadas pode afetar a estabilidade estrutural dos materiais poliméricos, torna-se necessário investigar a relação entre o grau de ligações cruzadas, o grau de conversão e o desgaste de polímeros submetidos a diferentes protocolos de ativação, tendo como parâmetros as observações decorrentes de avaliações laboratoriais e clínicas, em função da adoção dos mesmos procedimentos operacionais. Observa-se

que, apesar de haver diversas publicações sobre a polimerização de resinas compostas, a maioria delas é essencialmente laboratorial. Os poucos trabalhos^{14, 64, 96} que avaliaram o efeito da fotoativação no comportamento clínico do material restaurador não contemplaram a utilização de diferentes fontes de luz, densidades de potência ou tempos de polimerização com energia semelhante, limitando-se a comparar o modo de fotoativação contínua à técnica gradual. Desta forma, justificam-se pesquisas que tragam subsídios para estabelecer evidências científicas quanto à correspondência dos resultados obtidos *in vitro* com a aplicabilidade clínica, uma vez que o teste final dos materiais restauradores ocorre na cavidade oral.

Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura engloba os artigos mais relevantes, dentre os diferentes tópicos percorridos, para o entendimento do problema de pesquisa e para a discussão deste trabalho.

2.1 Propriedades da resina composta

Dentre as propriedades da resina composta, a dureza, o grau de amolecimento em etanol, o grau de conversão, a profundidade de polimerização, o estresse de contração e o desgaste serão abordados a seguir.

2.1.1 Dureza e grau de amolecimento em etanol

A determinação da dureza é uma das propriedades das resinas compostas mais comumente investigadas. Esta propriedade tornou-se especialmente interessante quando FERRACANE, 1985,³⁷ observou que a dureza Knoop da resina apresenta correlação com o grau de conversão. O autor obteve o grau de conversão de três resinas sem carga, pelo método de espectroscopia FTIR, em diferentes intervalos de tempo, durante os primeiros 30 minutos da reação de polimerização. Paralelamente, a dureza Knoop foi mensurada para os mesmos intervalos de tempo, sob aplicação de uma carga de 100 g. A dureza apresentou alta correlação com o grau de conversão. No entanto, o autor ressalta que o valor absoluto de dureza não prediz o grau de conversão, quando se deseja comparar diferentes materiais resinosos. De qualquer maneira, a dureza pôde ser considerada como um método válido para se testar, indiretamente, o grau de conversão de um material específico, em diferentes intervalos de tempo ou sob condições variadas.

Desde então, a dureza tem sido amplamente utilizada como parâmetro de comparação do efeito de diferentes tipos de lâmpadas e métodos de fotoativação sobre os materiais resinosos. Considerando a redução da razão de polimerização como método eficiente para reduzir as tensões de contração da resina composta, KANCA; SUH, 1999,⁴⁹ investigaram o efeito de diferentes modos de fotoativação em algumas propriedades do material. Foram testadas diferentes densidades de potência e intervalos de tempo: A) 40 segundos a 600 mW/cm²; B) 40 segundos a 100 mW/cm²; C) 2 segundos a 300 mW/cm², seguido de 5 minutos de espera e complementada por 10 segundos a 600 mW/cm². Dureza Barcol e tração diametral foram mensuradas para cada protocolo de ativação. Os efeitos do estresse de contração foram avaliados através da penetração de corantes em cavidades de classe I, restauradas com resina composta pela técnica incremental e submetidas aos mesmos protocolos de ativação descritos anteriormente. A dureza do material, mensurada em diversos momentos num intervalo de 24 horas, a fim de se determinar a razão de polimerização, mostrou-se equivalente para os dois grupos ativados com protocolos contínuos. Para o grupo ativado pela técnica de pulso interrompido, a razão de polimerização mostrou-se significativamente mais lenta. Não foram observadas diferenças entre os grupos quanto à tração diametral. No entanto, a penetração de corante foi menor com o uso da baixa densidade de potência e mínima no grupo ativado pela técnica de pulso. Os autores acreditam que este resultado deve-se ao prolongamento da fase gel, permitindo, assim, o maior escoamento da resina composta. Desta forma, sugerem a técnica de pulso interrompido como promissora na fotoativação de materiais resinosos.

ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001,⁷ também investigaram o efeito da redução na razão de polimerização sobre as propriedades dos materiais resinosos. Os autores relembram que a resina composta pode ser polimerizada por diversos protocolos de fotoativação. Dentre estes protocolos, pode-se variar a densidade de potência emitida pelos aparelhos fotoativadores ou, ainda, o tempo de exposição à luz. A partir da redução na formação de fendas nas margens de restaurações com a técnica de pulso interrompido, sem

comprometer as propriedades mecânicas da resina composta,⁴⁹ estes autores estabeleceram que a pré-polimerização lenta, obtida com pulso interrompido, resultaria na formação de uma estrutura polimérica diferente daquela obtida com a fotoativação contínua, em alta densidade de potência. Investigaram, então, o grau de conversão por espectroscopia FTIR e o grau de amolecimento em etanol, determinado através da dureza Wallace. Vale ressaltar que a dureza Wallace mede a profundidade de penetração de um diamante Vickers, sob uma carga determinada e, portanto, se trata uma medida de amolecimento do material. Foram investigadas a irradiação contínua, a 450 mW/cm² durante 40 segundos, ou ativação por pulso interrompido, com densidade de pré-polimerização de 450 ou 650 mW/cm² e complementação da polimerização a 450 mW/cm² durante 40 segundos, variando-se o período de espera em 1, 2 ou 3 minutos. A dureza Wallace foi determinada, antes e após o armazenamento em etanol a 100% durante 24 horas, sob a aplicação de uma carga de 100 g durante 1 minuto. Os autores observaram não haver diferenças significantes quanto ao grau de conversão para os diferentes protocolos de ativação testados. No entanto, constataram que as técnicas de pulso interrompido resultaram em polímeros mais susceptíveis ao amolecimento em etanol. O grau de amolecimento foi maior com o aumento da densidade de pré-polimerização e com o prolongamento no tempo de espera para complementação da fotoativação. Ainda, sugerem que o maior amolecimento possa ser interpretado como a manifestação de polímeros com menor quantidade de ligações cruzadas.

YAP; SENEVIRATNE, 2001,¹⁰³ também adotaram a dureza para investigar o efeito da densidade de energia na polimerização da resina composta. A dureza superficial dos espécimes e aos 2 mm de profundidade foi mensurada após a fotoativação com diferentes densidades de energia. Cinco densidades de potência (200, 300, 400, 500 e 600 mW/cm²) e nove tempos de exposição (10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 180 segundos) foram investigados. A dureza Knoop foi mensurada em cada um dos seis espécimes confeccionados para cada densidade de energia. Os autores calcularam, também, a razão entre dureza superficial e profunda, considerando como

controle a razão da dureza obtida a 400 mW/cm^2 durante 40 segundos, observando-se correlação entre o tempo de exposição e a dureza. A polimerização ótima na base dos espécimes foi obtida somente a 300 mW/cm^2 após 120 segundos, a 500 mW/cm^2 após 30 segundos e a 600 mW/cm^2 após 20 segundos de exposição à luz. Concluíram que a dureza Knoop da resina composta foi influenciada, principalmente, pela dose total de energia emitida.

ABATE *et al.*, 2001,¹ também investigaram como a variação nos protocolos de fotoativação pode influenciar as propriedades da resina composta. Os autores avaliaram a relação entre a densidade total de energia emitida e a dureza de quatro materiais resinosos. A fotoativação foi realizada emitindo diferentes doses de energia total: 22,6; 15,7; 9,0 ou 6,7 J/cm^2 . Variou-se a distância da ponta de luz em relação à superfície do material (0, 5, 10, 15 mm), como forma de atenuar a densidade de potência emitida. Variou-se também o tempo de exposição (40, 28, 16, 12 segundos). A dureza Barcol foi determinada imediatamente após a fotoativação sobre a superfície irradiada pela luz. Não foi observada diferença estatisticamente significativa na dureza do material quanto ao tempo de exposição ou à distância da fonte de luz, mas diferenças significantes foram encontradas entre os diferentes materiais e níveis de densidade de energia. Os autores concluíram que a dureza está relacionada à dose total de energia emitida durante a fotoativação.

A dureza tornou-se também um dos parâmetros utilizados para se comparar diferentes fontes de luz. MILLS *et al.*, 2002,⁶⁰ compararam o desempenho de aparelhos de lâmpada halógena aos diodos emissores de luz. Espécimes de resina composta foram fotoativados durante 20 ou 40 segundos, com aparelhos LED emitindo 122, 561 e 831 mW/cm^2 , ou com uma lâmpada de quartzo-tungstênio a 532 mW/cm^2 . A dureza Barcol foi mensurada a cada milímetro, até 6 mm de profundidade. Foi realizado, também, o teste de resistência à compressão, para os mesmos aparelhos e protocolos de fotoativação. A emissão espectral dos aparelhos foi caracterizada em um espectrômetro. Observou-se que os dois aparelhos LED de maior densidade de potência resultaram em dureza e resistência à compressão similares às

produzidas pelo aparelho QTH. A dureza dos espécimes fotoativados com o LED de baixa densidade de potência, no entanto, decresceu rapidamente em relação à profundidade do espécime e à redução do tempo de exposição. Os autores concluíram ser a tecnologia LED promissora e capaz de alcançar desempenho comparável às lâmpadas halógenas, apesar do desempenho inferior apresentado pelo aparelho emissor de baixa densidade de potência.

ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003,¹¹ investigaram a influência da fotoativação em dois passos no grau de amolecimento de polímeros em etanol e no grau de conversão. Os espécimes de resina experimental foram pré-polimerizados a 25, 50, 100, 200 ou 400 mW/cm², durante 10, 20 ou 40 segundos. A polimerização final, assim como a fotoativação do grupo controle, ocorreu imediatamente, utilizando 750 mW/cm² durante 20 segundos. O grau de amolecimento foi determinado pela mensuração da dureza Wallace, antes e após o armazenamento em etanol a 100% durante 24 horas, sob a aplicação de uma carga de 100 g, durante 1 minuto. Por ser a dureza Wallace uma medida de amolecimento, quanto maior o valor numérico de dureza, maior o amolecimento do material. O grau de conversão foi obtido através de espectroscopia FTIR. Observou-se que a dureza registrada antes do armazenamento em etanol não foi influenciada pelos diferentes protocolos de ativação. Com exceção da menor e das duas maiores densidades de pré-polimerização, a polimerização em dois passos resultou em polímeros mais susceptíveis ao amolecimento em etanol, quando comparados ao grupo controle. O grau de conversão da resina experimental foi menor quando se adotaram densidades de pré-polimerização intermediárias. Os autores concluíram que a fotoativação em dois passos pode aumentar a susceptibilidade de polímeros à ação de amolecimento, provocada por alimentos e bebidas na cavidade oral.

ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003,⁹ investigaram a estrutura polimérica do material resinoso, considerando sua distância em relação à fonte de luz. Os espécimes de resina composta foram fotoativados em uma matriz a 580 mW/cm² durante 40 segundos. Após uma semana de armazenamento a

seco a 37°C, os espécimes foram incluídos em gesso e lixados paralelamente ao longo eixo dos cilindros, até expor a resina composta. A dureza Wallace foi determinada em diferentes pontos de distância da superfície irradiada pela luz, antes e após o armazenamento em etanol durante 24 horas. Antes do armazenamento em etanol, não se observaram diferenças quanto à dureza em até 3,5 mm de distância da superfície irradiada pela luz. Após o armazenamento em etanol, observou-se um amolecimento mais intenso entre 3 e 3,5 mm, quando comparado ao amolecimento observado entre 0,5 e 2,5 mm de distância da fonte de luz. Isso ocorreu, possivelmente, devido à polimerização mais lenta nas camadas mais profundas do material, resultando em um polímero com menor quantidade de ligações cruzadas.

SOH; YAP, 2004,⁸⁶ estudaram a influência de diferentes modos de fotoativação na densidade de ligações cruzadas de resinas compostas, através da temperatura de transição vítrea e da dureza Knoop. Quatro protocolos de ativação foram investigados, mantendo-se constante a densidade total de energia emitida: contínuo, pulso interrompido, gradual e pulso intermitente. A temperatura de transição vítrea foi mensurada em espécimes de resina composta fotoativados pelos diferentes protocolos, utilizando o método de calorimetria diferencial (DSC). O grau de amolecimento em etanol foi utilizado como método indireto para se acessar o grau de ligações cruzadas dos polímeros. A dureza Knoop foi mensurada antes e após o armazenamento dos espécimes em etanol a 75%, 37°C durante 24 horas, sob a aplicação de uma carga de 500 g durante 15 segundos. De acordo com o método de calorimetria diferencial, o protocolo de fotoativação contínua resultou na maior temperatura de transição vítrea, seguido pelo pulso intermitente, gradual e pulso interrompido. A maior variação de dureza Knoop, por outro lado, foi resultante do pulso intermitente, seguido da técnica gradual, contínua e pulso interrompido. Os autores concluíram que os espécimes fotoativados pela técnica do pulso interrompido mostraram-se mais susceptíveis ao amolecimento em etanol, quando comparados ao pulso intermitente. Os resultados sugerem que a técnica de pulso interrompido resulta em polímeros

com menor densidade de ligações cruzadas e, portanto, mais susceptíveis ao amolecimento em etanol.

YAP *et al.*, 2004,¹⁰⁴ avaliaram também o efeito de diferentes fontes de luz e modos de fotoativação na densidade de ligações cruzadas de resinas compostas. O desempenho de quatro aparelhos com lâmpada halógena e diodos emissores de luz foi comparado através da dureza Knoop. Para os diferentes aparelhos, foram adotados, também, diferentes protocolos de fotoativação: contínuo (20 segundos a 600 mW/cm²; 40 segundos a 350, 400 ou 800 mW/cm²; 10 segundos a 1200 mW/cm²), gradual (12 segundos a 400 mW/cm² + 28 segundos a 400 mW/cm²; 20 segundos com densidade de potência crescente de 0 a 600 mW/cm² + 20 segundos a 600 mW/cm²; 15 segundos com densidade de potência crescente de 100 a 800 mW/cm² + 25 segundos a 800 mW/cm²) e pulso intermitente (10 pulsos de 2 segundos de duração a 750 mW/cm²). Seis espécimes de resina composta foram confeccionados para cada combinação de modo de ativação e fonte de luz. A dureza Knoop da superfície em contato com a fonte de luz foi determinada, antes e após o armazenamento em etanol a 75% e 37°C durante 24 horas, sob a aplicação de uma carga de 500 g, durante 15 segundos. O grau de amolecimento em etanol foi utilizado como indicador relativo da densidade de ligações cruzadas. Os espécimes fotoativados com densidades de potência extremamente altas e com todos os modos de ativação dos aparelhos LED resultaram em polímeros mais susceptíveis ao amolecimento em etanol. Para alguns aparelhos fotoativadores, não se observou diferença entre os modos de ativação, enquanto para outro aparelho o modo contínuo resultou em espécimes com maior densidade de ligações cruzadas.

HOFMANN *et al.*, 2004,⁴⁶ avaliaram a dureza e solubilidade de materiais resinosos frente à ativação com alta densidade de potência ou modulação da fotoativação. A dureza Knoop foi mensurada à 1,5 mm de profundidade, após acondicionamento a 37°C durante 24 horas, a fim de se determinar, indiretamente, o grau de conversão. A solubilidade foi determinada após a imersão dos espécimes polimerizados numa solução de metanol a 50%,

durante 72 horas. Quatro diferentes resinas compostas foram fotoativadas com dois aparelhos de lâmpada halógena, em protocolos contínuos de alta densidade de potência (10 segundos a 1300 mW/cm²; 10 segundos a 1140 mW/cm²) ou modulação da ativação (aumento progressivo da densidade de potência até 700 mW/cm² durante 10 segundos seguidos de três períodos de 2 segundos a 1300 mW/cm², alternados por dois períodos de 2 segundos a 700 mW/cm²; aumento exponencial em 10 segundos seguido da fotoativação contínua por 10 segundos a 1140 mW/cm²). Para as resinas de polimerização rápida, dureza equivalente foi observada após 10 segundos de fotoativação contínua e 20 segundos de ativação modulada. Para as resinas de polimerização mais lenta, a modulação da fotoativação resultou em maiores valores de dureza. Os protocolos de ativação modulada resultaram, em geral, em menor solubilidade, quando comparados à fotoativação contínua, e podem ser considerados uma boa alternativa na polimerização de materiais resinosos.

PERIS *et al.*, 2005,⁶⁸ investigaram a dureza de resinas compostas fotoativadas durante 40 segundos por diferentes fontes de luz à base de diodos emissores de luz (Elipar FreeLight 1, 3M ESPE; Ultrablue II, DMC; Ultrablue III, DMC; LEC 470 I, MM Optics) ou lâmpada halógena (Optilux 501, Kerr Demetron), utilizando diferentes densidades de potência, variando de 282 a 866 mW/cm². A dureza Knoop foi mensurada na superfície em contato com a luz e na face oposta, com 2 mm de profundidade, 24 horas após a polimerização. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de dureza resultantes da fotoativação com LED FreeLight e QTH Optilux. No entanto, os demais aparelhos de diodos emissores de luz, (densidades de potência variando de 91 a 282 mW/cm²) resultaram em menor microdureza, quando comparados aos espécimes fotoativados com lâmpada halógena (866 mW/cm²). Para a resina composta de micropartículas, as diferentes fontes de luz produziram dureza similar na superfície oposta à irradiada pela luz. No entanto, para as superfícies em contato com a fonte de luz, a fotoativação com lâmpada halógena resultou em maior dureza, enquanto os aparelhos diodos emissores de luz apresentaram desempenhos equivalentes entre si.

PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005,⁷⁰ relembram o conceito de densidade total de energia: as propriedades da resina composta são determinadas somente pela densidade total de energia emitida, devido à reciprocidade entre densidade de potência e duração da exposição à luz. No entanto, devido à complexidade da cinética de polimerização, os autores levantam a hipótese de que o grau de conversão, a resistência flexional e o módulo flexional são influenciados não somente pela densidade total de energia emitida, mas também pela densidade de potência *per se*. Uma resina composta convencional foi fotoativada em três diferentes níveis de energia (4, 8 e 12 J/cm²) e seis combinações de densidade de potência (50, 100, 200, 400, 800 e 1000 mW/cm²) e tempos de exposição (variando de 4 a 320 segundos). O grau de conversão, a resistência flexional e o módulo flexional aumentaram com o aumento da densidade de energia. Para cada densidade de energia, o grau de conversão diminuiu com o aumento da densidade de potência. A resistência e o módulo flexional apresentaram valores máximos em densidades de potência intermediárias, para cada nível de densidade de energia estudado. Os autores concluíram que, para as densidades de potência investigadas, as propriedades da resina composta foram influenciadas não somente pela densidade de energia, mas também pela densidade de potência utilizada.

LINDBERG *et al.*, 2005,⁵⁵ compararam a profundidade de polimerização obtida com seis aparelhos de lâmpada halógena e diodos emissores de luz, sob diferentes tempos de exposição, variando-se a distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta. Espécimes de resina composta (4 mm de diâmetro, 6 mm profundidade) foram fabricados e fotoativados a 0, 3 e 6 mm de distância da fonte de luz. As densidades de potência emitidas pelos aparelhos variaram de 200 a 700 mW/cm², empregadas em protocolos de fotoativação contínua (durante 20 ou 40 segundos), pulso interrompido (exposição inicial de 3 segundos a 200 mW/cm², 3 minutos de espera e complementação da fotoativação, por 10 ou 30 segundos a 600 mW/cm²) ou rampa (exposição exponencial durante 40 segundos). A profundidade de polimerização foi obtida através de mensurações de dureza Wallace, a cada 0,5 mm de distância, a partir da superfície do

espécime irradiada pela luz. Para cada espécime, calculou-se o valor médio de dureza Wallace em até 2 mm de profundidade. A profundidade de polimerização foi considerada a profundidade imediatamente anterior àquela em que um valor inferior a 25% da dureza Wallace obtida na superfície fosse detectado. Para todas as fontes de luz, o aumento no período de exposição ampliou a profundidade de polimerização. O distanciamento da fonte de luz da superfície da resina composta reduziu significativamente a profundidade de polimerização. À distância de 6 mm entre a fonte de luz e a superfície do material, a profundidade de polimerização variou entre 2 e 3,5 mm para 20 segundos de fotoativação contínua ou para o protocolo de pulso com complementação por 10 segundos, e entre 3 e 4,5 mm para o protocolo contínuo por 40 segundos ou pulso complementado por 30 segundos. Para ambos os tempos de exposição, observou-se uma correlação linear entre densidade de potência das fontes de luz e os valores agrupados de profundidade de polimerização. Segundo os autores, o tempo de exposição poderia ser reduzido de 40 para 20 segundos, sem comprometer a profundidade de polimerização em incrementos de 2 mm de material. Embora os valores absolutos de profundidade de polimerização sejam específicos para o material testado, os autores acreditam que a relação entre as fontes de luz, os tempos de exposição e as distâncias entre a fonte de luz e superfície do material seja universal.

PRICE *et al.*, 2005,⁷⁵ compararam o desempenho de um diodo emissor de luz de alta densidade de potência e uma fonte de luz halógena. Preparos de classe I de 4 mm de profundidade foram confeccionados em dentes humanos e restaurados com dez resinas compostas diferentes. As resinas compostas foram fotoativadas durante 50% (10, 15 ou 20 segundos) ou 100% (20, 30 ou 40 segundos) do tempo recomendado pelo fabricante para a fonte LED; e durante 100% do tempo recomendado pelo fabricante para a fonte de luz halógena, tanto em alta (~ 900 ou 1300 mW/cm^2) ou média ($\sim 500 \text{ mW/cm}^2$) densidade de potência. A dureza Knoop foi mensurada, após 15 minutos, a 3,5 mm de profundidade. Quando a fotoativação seguiu os tempos recomendados pelos fabricantes, a dureza Knoop manteve-se acima dos 80%

da dureza máxima, para os diferentes materiais investigados, até uma profundidade de 1,5 mm. As interações entre fontes de luz, profundidade de polimerização e resina composta foram significantes. Para eliminar o fator resina composta, uma comparação abrangente das fontes de luz testadas foi feita pelo ordenamento dos valores de dureza. O aparelho LED, utilizado pelo tempo recomendado pelo fabricante, foi considerado o melhor na fotoativação das resinas compostas, para a profundidade de até 3 mm. Não houve diferença na dureza Knoop dos materiais testados quando o LED foi utilizado por 50% do tempo recomendado pelo fabricante ou quando o aparelho QTH foi utilizado por 100% do tempo recomendado, em alta densidade de potência.

PRICE *et al.*, 2006,⁷⁶ ressaltam que os LED de terceira geração empregam diferentes diodos emissores de luz, a fim de ampliar o espectro de luz emitido pelos aparelhos de segunda geração. Desta forma, os autores se propuseram a investigar os benefícios obtidos com a emissão espectral mais ampla. Para isso, modificaram um aparelho LED de terceira geração de modo que quatro diodos periféricos, produtores de menores comprimentos de onda, pudessem ser ligados e desligados, de modo a funcionar como um aparelho de segunda ou terceira geração. Diversas resinas compostas foram utilizadas na confecção de espécimes fotoativados durante 20 segundos. Um radiômetro foi utilizado para garantir que todos os espécimes recebessem a mesma densidade de potência e densidade total de energia ($16,82 \text{ J/cm}^2$), independente do modo de funcionamento do aparelho, em segunda ou terceira geração. A dureza foi determinada na superfície em contato com a fonte de luz e na face oposta, a 2 mm de profundidade. Em geral, a fotoativação com um espectro mais amplo produziu dureza equivalente à produzida pelo modo de ativação da segunda geração. Em sete dos doze materiais testados, no entanto, a dureza superficial foi maior quando os diodos de terceira geração estavam ativos. De acordo com os autores, os resultados mostram que existe benefício da ampliação da emissão espectral, para os aparelhos de diodos emissores de luz.

RITTER *et al.*, 2006,⁷⁸ investigaram os efeitos de diferentes

aparelhos de fotoativação na micro-infiltração, adaptação marginal e microdureza de restaurações de resina composta. Cavidades tipo *slot* foram preparadas em dentes bovinos, determinando margens gengivais em dentina. Os espécimes foram divididos em doze grupos, de acordo com as combinações de fotoativação e material restaurador utilizado (Filtek Supreme, Herculite XRV, Heliomolar). O mesmo agente adesivo foi empregado em todas as restaurações. Cada incremento foi fotoativado, durante 20 segundos, por quatro fontes de luz: um aparelho de quartzo-tungstênio a 600 mW/cm^2 (Optilux 501), um LED de primeira geração a 220 mW/cm^2 (FreeLight 1) e dois aparelhos LED de segunda geração a 780 mW/cm^2 (FreeLight 2) e a 600 mW/cm^2 (Translux Power Blue). Após o acabamento e polimento das restaurações, os espécimes foram submetidos ao carregamento mecânico, durante 100.000 ciclos. A adaptação marginal gengival foi determinada em réplicas de resina epóxica, em função da formação de fendas. A micro-infiltração foi verificada através da penetração de corante na parede gengival dos espécimes seccionados. A dureza Knoop foi mensurada também nos espécimes seccionados em diferentes localizações ocluso-gengivais. O carregamento mecânico afetou a adaptação marginal da maioria das restaurações, mas não foi observada diferença significativa entre as diferentes resinas compostas ou aparelhos fotoativadores; com exceção da resina Heliomolar fotoativada pelo aparelho Optilux 501, que apresentou os maiores escores de infiltração. Com relação à microdureza, Translux Power Blue produziu os maiores valores, enquanto FreeLight 1 resultou nos menores. O desempenho dos aparelhos LED de segunda geração foi similar ao da lâmpada halógena e superior ao do aparelho LED de primeira geração.

FELIX *et al.*, 2006,³⁶ compararam o efeito da redução do tempo de exposição à luz na microdureza de resinas compostas fotoativadas com um aparelho LED de segunda geração e um aparelho de lâmpada halógena. Dez resinas compostas foram fotoativadas com o aparelho LED (1293 a 1393 mW/cm^2), durante 50% do tempo de exposição recomendado pelos fabricantes, ou com o aparelho de lâmpada halógena, durante 50% do tempo recomendado em modo de alta densidade de potência (765 a 964 mW/cm^2) ou

100% do tempo em média densidade de potência (464 a 567 mW/cm²). As resinas compostas foram inseridas em preparos cavitários de classe I, confeccionados em molares humanos extraídos, e fotoativadas a 2 ou 9 mm de distância entre a fonte de luz e o material restaurador. A dureza Knoop foi mensurada ao longo da restauração, até a profundidade de 3,5 mm. O aparelho LED, a 2 mm de distância e 50% do tempo de exposição, produziu dureza maior ou igual ao aparelho de lâmpada halógena, em 50% do tempo de exposição em alta densidade de potência ou 100% do tempo de exposição em média densidade de potência (464 a 567 mW/cm²). Com 9 mm de distanciamento entre a fonte de luz e a superfície do material, o LED foi considerado equivalente ao aparelho de lâmpada halógena, em ambas as regulagens, até a profundidade de 1,5 mm, além da qual o material fotoativado com LED apresentou dureza menor. Não se observaram diferenças quanto à dureza, após a fotoativação com lâmpada halógena nas duas regulagens, para ambas as distâncias. Segundo os autores, é possível reduzir o tempo de exposição do material restaurador à fonte de luz, o que se traduz em benefício clínico.

2.1.2 Grau de conversão, profundidade de polimerização e estresse de contração

DAVIDSON; FEILZER, 1997,²⁸ discutiram os problemas relacionados com a contração de polimerização e a tensão gerada durante a formação das cadeias poliméricas dos materiais resinosos. Os autores relembram que a contração de polimerização das resinas compostas é inerente a estes materiais, porém, seus efeitos podem ser minimizados mediante a utilização de bases cavitárias ou pela modulação da fotoativação. Ressaltam, também, que existe uma relação direta entre fator C e tensão de contração, portanto, quanto maior for o fator C, maior o desenvolvimento de tensões. Os autores acreditam que o emprego de uma base cavitária com baixo módulo de elasticidade, como

o cimento de ionômero de vidro, pode contribuir para a distribuição mais homogênea dessas tensões. Acreditam, ainda, que a redução inicial da densidade de potência durante a fotoativação pode proporcionar uma reação de polimerização lenta do material, favorecendo seu escoamento e, conseqüentemente, uma melhor integridade marginal. Os autores concluíram que é importante conhecer os problemas relacionados à contração de polimerização, com o intuito de buscar técnicas que minimizem os problemas gerados.

DAVIDSON-KABAN *et al.*, 1997,²⁹ avaliaram a influência da redução da densidade de potência e do tempo de exposição na qualidade de adaptação de restaurações de resina composta às margens cavitárias. Contração de polimerização e dureza foram determinadas após a fotoativação com densidades de potência de 175 e 700 mW/cm² e tempos de exposição de 10 e 60 segundos. A adaptação marginal das restaurações foi avaliada em cavidades de classe V em dentes bovinos, localizadas em dentina, submetidas aos mesmos protocolos de fotoativação. Os materiais restauradores foram fotoativados a 700 mW/cm², por 10 e 60 segundos, e a 175 mW/cm², por 60 segundos. Após 24 horas de armazenamento, os procedimentos de acabamento e polimento foram realizados e os espécimes foram seccionados vestibulo-lingualmente, através da restauração, para análise em microscopia eletrônica de varredura. Os dados de contração de polimerização indicaram, indiretamente, a conversão e a razão de polimerização. A redução da densidade de potência diminuiu a razão de polimerização, mas não diminuiu o grau de conversão, desde que o tempo de exposição fosse de 60 segundos. A fotoativação com alta densidade de energia promoveu maior separação entre o dente e a restauração. Desta forma, os autores demonstraram que adaptação e conversão ótimas são mais influenciadas pelo tempo de exposição à luz do que pela densidade de potência emitida pela fonte de luz.

SAKAGUCHI; BERGE, 1998,⁸² avaliaram a relação da densidade de potência com a tensão de contração de polimerização pós-gel e com o grau de conversão de resinas compostas. Para isso, os autores confeccionaram

espécimes cilíndricos de resina composta, que foram polimerizados a uma distância de 7 mm, com tempo de exposição de 40 segundos e intensidades atenuadas de luz em 71%, 49% ou 34%. Compararam, ainda, estes resultados a um grupo em que se utilizou a técnica gradual, inicialmente com menor densidade de potência (71% por 20 segundos), seguida de densidade de potência máxima (100% por 20 segundos). O grupo que foi polimerizado com intensidade máxima (100%) por 40 segundos serviu como controle. O grau de conversão foi medido na superfície e na base dos espécimes. A tensão de contração de polimerização pós-gel também foi determinada. Os resultados mostraram que houve diferença significativa quanto ao grau de conversão entre os grupos, com exceção dos grupos que tiveram uma atenuação da densidade de potência em 71% e 49%. Quando se avaliou a base dos espécimes, não houve diferença significativa entre os resultados de grau de conversão dos grupos com atenuação de 71% e densidade de potência máxima (100%). Observou-se diferença significativa entre os demais grupos experimentais. O grupo fotoativado pela técnica gradual não apresentou diferença em relação aos outros grupos quanto ao grau de conversão, apesar da redução de 21,8% na contração de polimerização pós-gel. Os autores concluíram que a aplicação de uma densidade de potência menor minimizou a contração de polimerização pós-gel, sem afetar o grau de conversão da resina composta avaliada.

LOVELL *et al.*, 1999,⁵⁷ avaliaram o efeito da densidade de potência (0,4; 1,5; 2,9 mW/cm²), temperatura (25, 40, 55°C) e composição do material (0% a 100% BisGMA, em incrementos de 25% BisGMA), na polimerização do sistema BisGMA/TEGDMA. Numa segunda etapa de experimentos, a temperatura (25°C) e densidade de potência (2,6 mW/cm²) foram mantidas constantes. Os autores utilizaram o método de calorimetria diferencial (DSC) para monitorar a razão de polimerização das diferentes condições experimentais. Este sistema apresentou polimerização semelhante à de outros sistemas de dimetacrilatos. Quando a composição da mistura foi variada, percebeu-se que a viscosidade do sistema influenciou a razão e a terminação do processo de polimerização. As misturas contendo de 50% a 75% de

BisGMA em peso apresentaram a maior razão de polimerização. Este dado sugere que o TEGDMA é um excelente diluente, porque aumenta a mobilidade do meio de reação. No entanto, a alta reatividade deve-se à presença de BisGMA e, portanto, a quantidade de BisGMA na mistura controla o mecanismo e a cinética de polimerização. Observou-se também que a razão máxima de polimerização foi influenciada pela densidade de potência emitida pela fonte de luz.

DAVIDSON; DE GEE, 2000,²⁷ destacaram que a conversão adequada da resina requer uma certa quantidade de energia, que varia de acordo com as características da fonte de luz e do tempo de exposição. A conversão resultante da fotoativação com altas densidades de potência é, proporcionalmente, acompanhada por um endurecimento rápido do material e pode afetar negativamente a integridade marginal da restauração adesiva. Os autores destacaram, ainda, que a conversão completa em regiões mais profundas das restaurações pode não ser possível se um dos componentes do aparelho fotoativador estiver defeituoso. Uma das alternativas para se evitar este problema é prolongar o tempo de exposição da resina composta à luz, além de realizar a manutenção periódica da fonte de luz, a fim de garantir a qualidade do tratamento restaurador.

JANDT *et al.*, 2000,⁴⁸ testaram as hipóteses de que a profundidade de polimerização e a resistência à compressão de resinas compostas fotoativadas com um aparelho de diodos emissores de luz ou lâmpada halógena não diferem. Os autores caracterizaram, ainda, a emissão espectral dos aparelhos fotoativadores. Os espécimes de resina composta (4 x 8 mm) foram fotoativados durante 40 segundos e a profundidade de polimerização foi mensurada com um penetrômetro. A resistência à compressão da resina composta, fotoativada com os diferentes aparelhos, foi obtida após 6 e 72 horas. Não houve diferença quanto à profundidade de polimerização resultante da fotoativação com diodos emissores de luz ou lâmpada halógena, cumprindo o requisito mínimo estabelecido pela norma ISO 4049. Diferenças significantes foram observadas para o tempo de armazenamento dos espécimes (6 ou 72

horas) antes do teste de resistência à compressão e entre os dois materiais testados. O espectro de emissão de luz diferiu entre os dois aparelhos comparados: a lâmpada halógena apresentou uma ampla distribuição dos comprimentos de onda, com pico espectral em 497 nm, e densidade de potência de 755 mW/cm². O LED apresentou emissão espectral concentrada próximo a 465 nm e densidade de potência de 350 mW/cm². Os resultados mostraram que ambos os aparelhos emitiram energia suficiente para cumprir os requisitos mínimos da ISO 4049 quanto à profundidade de polimerização e, portanto, apresentam desempenho equivalente. Os autores ressaltam o potencial dos aparelhos LED, devido às vantagens que estes apresentam, somadas à qualidade da polimerização que oferecem às resinas compostas.

SILIKAS *et al.*, 2000,⁸⁵ investigaram o grau de conversão e a resultante das forças de contração de polimerização de resinas compostas. Diferentes protocolos de fotoativação foram testados: I - 750 mW/cm² durante 40 segundos; II - 200 mW/cm² durante 10 segundos, seguido de 750 mW/cm² durante 30 segundos; III - 200 mW/cm² durante 40 segundos; IV - 200 mW/cm² durante 10 segundos. O grau de conversão foi avaliado através de espectroscopia em infravermelho. Tanto o grau de conversão como as tensões resultantes da contração de polimerização foram mensuradas, continuamente, por até 30 minutos após o início da fotoativação. Os autores observaram que o modo II de irradiação não promoveu redução no grau de conversão dos materiais analisados, quando comparado ao modo I. Entretanto, os efeitos da redução da intensidade inicial de luz, nos modos III e IV, promoveram uma redução nas tensões resultantes da contração de polimerização. Para ambos os materiais restauradores, houve uma forte correlação entre as forças resultantes da contração de polimerização e os valores de conversão ($r^2 > 0,99$). De acordo com os autores, esta correlação significa que uma redução da resultante das forças de contração pode ser conseguida, à custa de uma redução aceitável do grau de conversão.

LOVELL *et al.*, 2001,⁵⁶ estudaram o efeito da razão de polimerização nas propriedades mecânicas de uma resina composta. A razão de

polimerização e o grau de conversão foram monitorados, através de espectroscopia, nos mesmos espécimes a serem submetidos aos testes mecânicos. A temperatura de transição vítrea e os módulos de perda e armazenamento em função da temperatura foram determinados pela análise mecânica dinâmica (DMA). Os radicais aprisionados foram eliminados do sistema resinoso, a fim de caracterizar as cadeias formadas, considerando a temperatura e o grau de conversão das duplas ligações, sem a necessidade de complementar a conversão por métodos adicionais, como a aplicação de calor. Os espécimes foram fotoativados com comprimentos de onda de luz ultravioleta e visível (350 a 470 nm a 5 e 10 mW/cm² durante 1000 segundos; 365 nm a 0,05; 0,5 e 1 mW/cm² durante 30, 40 e 80 horas; 320 a 390 nm a 700 mW/cm² durante 4, 12,5 e 50 segundos), as intensidades da luz ultravioleta variaram, em mais de quatro vezes de magnitude, e a temperatura de polimerização foi estabelecida em 10, 20, 37, 50 e 70°C. Embora as razões de polimerização fossem bastante diferentes para estas resinas, observou-se que a temperatura de transição vítrea e os módulos investigados foram similares para os espécimes que apresentavam o mesmo grau de conversão. Os autores observaram que a análise por espectroscopia e DMA são uma maneira direta de se verificar o efeito da razão de polimerização e conversão de duplas ligações nas propriedades mecânicas dos polímeros, como o sistema 75/25 BisGMA/TEGDMA, comumente utilizado na formulação de resinas compostas. A cinética de polimerização mudou, drasticamente, com a variação da temperatura e da densidade de potência de polimerização. No entanto, as propriedades avaliadas mostraram-se insensíveis à razão ou ao método de polimerização, mas extremamente dependentes da conversão final. Pode-se observar, portanto, existir uma ligação definida entre a condição de polimerização e a conversão dos polímeros. O perfil de polimerização, que determina o grau de conversão total, não afeta a temperatura ou módulo de transição vítrea, resultado este atribuído à alta densidade de ligações cruzadas dos polímeros formados.

FAN *et al.*, 2002,³⁵ investigaram a profundidade de polimerização de cinco resinas compostas, de diferentes cores, quando irradiadas com uma

densidade de potência constante. A norma da ISO especifica que as resinas compostas devem apresentar uma profundidade de polimerização mínima de 1,5 mm, quando irradiadas pelo tempo recomendado pelo fabricante; e sugerem a utilização de uma densidade de potência mínima de 300 mW/cm² e um espectro de irradiância de 400 a 515 nm. Neste trabalho, as resinas compostas foram fotoativadas pelos períodos de tempo recomendados pelos fabricantes. Os autores mediram a profundidade de polimerização através do método descrito pela ISO, raspando o material amolecido na base do espécime. A profundidade de polimerização foi definida como 50% da altura do espécime, após a remoção do material não polimerizado, determinando-se uma média das cinco amostras confeccionadas para cada cor e marca de resina composta utilizada. Os resultados mostraram que treze dos vinte e um materiais testados adequaram-se às especificações feitas pela ISO, enquanto seis dos oito materiais restantes demonstraram a profundidade de polimerização requerida somente quando o tempo de irradiação recomendado pelo fabricante foi dobrado. Os autores concluíram que 300 mW/cm² de densidade de potência parece polimerizar efetivamente a maioria das resinas compostas, quando tempos de exposição apropriados são utilizados. Em alguns casos, porém, houve a necessidade da utilização de maiores tempos do que os recomendados pelo fabricante.

YOON *et al.*, 2002,¹⁰⁶ compararam o desempenho de um aparelho de diodo emissor de luz, um arco de plasma e uma lâmpada halógena. Diversos períodos de irradiação foram testados, mantendo-se fixa a densidade de potência, a fim de produzir a mesma densidade total de energia. O grau de conversão de três resinas compostas foi determinado através de espectroscopia FTIR a 1, 2, 3 e 4 mm de profundidade, a partir da superfície do espécime. O grau de conversão foi diferente quanto aos diferentes materiais estudados, às diversas profundidades investigadas, à fonte de luz e nível de energia total. Quando a mesma densidade total de energia foi emitida, o grau de conversão produzido a partir das diferentes fontes de luz não diferiu. Quando a densidade de energia foi duplicada (de 8 para 16 J/cm²), não se observaram diferenças quanto ao grau de conversão, em até 2 mm de

profundidade.

Uma vez que a contração de polimerização gera estresse na interface dente-restauração, BRAGA; FERRACANE, 2002,¹⁷ avaliaram a influência do grau de conversão e da velocidade da reação de polimerização nos estresses de contração. Foram manipuladas resinas experimentais com diferentes razões de polimerização, variando-se a concentração de inibidor (0,05; 0,2; 0,5 e 1%). O efeito do grau de conversão foi monitorado ao se submeter uma das resinas experimentais a diferentes períodos de exposição à luz (15, 30, 60 e 120 segundos) a 184 mW/cm². O estresse de contração foi registrado, durante 10 minutos, em um tensilômetro. O grau de conversão foi obtido através de espectroscopia FTIR e a contração volumétrica do material foi determinada em um dilatômetro a mercúrio. Períodos prolongados de exposição à luz promoveram maior grau de conversão, contração volumétrica e estresse de contração. O grau de conversão apresentou uma influência significativa no estresse de contração ($r^2 = 0,993$). Observou-se, no entanto, redução na resultante das forças de contração ao se diminuir a razão de polimerização pelo acréscimo de inibidor. Os autores consideraram que o inibidor pode se ligar a duas ou mais cadeias poliméricas, reduzindo a velocidade inicial da reação, até ser completamente consumido. Desta forma, o uso de inibidor possibilitaria o aumento da fase pré-gel, proporcionando alívio das tensões iniciais de contração, sem comprometer o grau de conversão final. O grau de conversão e a contração volumétrica apresentaram uma relação não-linear com a densidade de energia.

HALVORSON *et al.*, 2002,⁴⁵ avaliaram a relação entre a extensão de polimerização e a dose total de energia aplicada à resina composta, que denominaram energia radiante. O grau de conversão foi determinado, através de espectroscopia FTIR, 5 minutos e 24 horas após a fotoativação. Filmes delgados de resina composta foram preparados e fotoativados com diferentes densidades decrescentes de potência, sob tempo de exposição constante de 30 segundos. Desta forma, o grau de conversão foi obtido a partir de uma variedade de energias radiantes. Adicionalmente, amostras de dois dos

materiais foram fotoativadas com diversas densidades de potência e tempos de exposição, de modo que a dose total de energia emitida fosse a mesma. Este esquema de fotoativação foi realizado em quatro níveis de energia, que apresentavam aproximadamente 75% da conversão total. Os perfis de polimerização, determinados pela percentagem de grau de conversão versus a energia radiante, demonstraram um decréscimo gradual no grau de conversão com a redução da energia emitida, seguido de uma queda brusca. Embora existam diferenças quanto ao grau de conversão obtido entre os diferentes materiais testados, os perfis de polimerização apresentaram-se bastante similares. Adicionalmente, um grau de conversão muito semelhante foi obtido quando os filmes de resina foram expostos à mesma dose de energia, oferecendo, assim, evidência para uma relação recíproca entre densidade de potência e tempo de exposição. Equivalência estatística foi constatada para a maior parte das combinações entre densidade de potência e tempo de exposição, dado um mesmo nível de energia, exceção feita aos curtos períodos de exposição. Os autores consideram, portanto, ser possível estabelecer como perfil de polimerização a correlação universal entre densidade de potência e tempo de exposição.

A partir dos resultados do estudo anterior, HALVORSON *et al.*, 2003,⁴⁴ derivaram uma relação entre densidade total de energia e grau de conversão, baseados em medidas de grau de conversão por espectroscopia FTIR. A relação entre energia e grau de conversão determina a densidade de energia necessária para se obter a conversão adequada do material, independentemente da sua cor. As predições resultantes desta relação foram confirmadas, experimentalmente, para diversas opacidades de resinas compostas, baseadas no conhecimento de suas propriedades de transmissão de luz e na densidade de energia emitida (densidade de potência x tempo de exposição). Utilizando as propriedades de transmissão das resinas compostas, uma energia crítica de 32 mJ/cm² foi determinada na face oposta à irradiada pela luz, em espécimes de resina composta cuja porção de material insuficientemente polimerizada (com apenas 22% de conversão) foi eliminada. A energia crítica que atravessa o espécime foi utilizada para prever a

profundidade de polimerização da resina composta fotoativada com diferentes densidades totais de energia. Estes resultados confirmam a relação logarítmica entre profundidade de polimerização e densidade total de energia, e a relação recíproca entre densidade de potência e tempo de exposição.

ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003,⁸ investigaram os efeitos da fotoativação com aparelhos de diodos emissores de luz, comparando-os à fotoativação com lâmpada halógena. Os aparelhos testados emitiam densidades de potência semelhantes (XL3000 - 400 mW/cm²; Elipar FreeLight - 300 mW/cm²; e-Light - 290 mW/cm²) e as resinas testadas foram fotoativadas durante 20 segundos. Resistência flexional, módulo de elasticidade, profundidade e contração de polimerização, e grau de conversão foram determinados. Os autores verificaram que as resinas compostas polimerizadas com os aparelhos de diodos emissores de luz apresentaram propriedades iguais ou inferiores às propriedades obtidas quando a lâmpada halógena foi utilizada. Embora a resistência flexional e a profundidade de polimerização fossem estatisticamente inferiores para os espécimes fotoativados com os aparelhos LED, preencheram os requisitos determinados pela norma ISO 4049. Os autores ressaltam que uma polimerização rápida pode aumentar a formação de fendas marginais. Ressaltam, ainda, que a contração de polimerização é resultante de um maior grau de conversão e de melhores propriedades mecânicas. Segundo os autores, os benefícios da utilização de um aparelho de menor densidade de potência devem ser considerados contra os potenciais prejuízos resultantes de uma fotoativação rápida.

Em 2003, EMAMI; SÖDERHOLM³⁴ testaram a hipótese de que o grau de conversão de resinas compostas está mais relacionado à densidade de energia do que à densidade de potência emitida. Diferentes densidades de potência (200, 450 e 800 mW/cm²) e tempos de exposição (5, 10, 20, 40, 60 e 140 segundos) foram combinados, a partir de uma única fonte de luz halógena. Foram fabricados espécimes a partir de duas resinas compostas, com espessuras de 2, 4 e 6 mm. O grau de conversão foi determinado no topo e na

base dos espécimes, através de espectroscopia Raman. O grau de conversão total variou de 60 a 65%. Os autores constataram que a conversão ocorre rapidamente e de modo suficiente quando incrementos de até 2 mm são fotoativados. Níveis de energia relativamente baixos, de 5 a 15 J/cm², promoveram a conversão adequada na superfície e na base dos espécimes. De acordo com os autores, a conversão de monômeros, nas diferentes profundidades estudadas, está mais relacionada à densidade total de energia emitida do que à densidade de potência dos aparelhos fotoativadores.

CALHEIROS *et al.*, 2004,¹⁹ investigaram a relação entre grau de conversão e contração de polimerização de resinas compostas, variando-se a densidade total de energia. Os testes de contração foram conduzidos no tensilômetro, no qual 2 mm de espessura de material foram colocados entre duas lâminas de vidro. O grau de conversão foi determinado através de espectroscopia, em espécimes de geometria e dimensões similares e submetidos a diferentes energias de fotoativação (4,5; 13,5; 27; 54 e 108 J/cm²), pela variação do tempo de exposição à fonte de luz. Os estresses de contração e o grau de conversão foram monitorados durante 10 minutos após o início da fotoativação. O estresse de contração aumentou com o aumento da densidade total de energia. Observou-se uma interação significativa entre a resina composta testada e a densidade de energia emitida, na geração de estresses de contração. O grau de conversão variou para os diferentes materiais avaliados, independente do nível de energia, mas não sofreu aumento quando níveis de energia superiores a 27 J/cm² foram utilizados. Os autores concluíram que o uso de altas densidades de energia aumenta consideravelmente o estresse de contração, sem aumentar significativamente o grau de conversão.

OBICI *et al.*, 2004,⁶⁵ compararam dois métodos de preparo de espécimes para investigar o efeito de seis protocolos de fotoativação e dois períodos de armazenamento no grau de conversão (n = 3) da resina composta Z250. Para a fabricação de pastilhas com brometo de potássio, a resina composta foi inserida em uma matriz e fotoativada de modo contínuo (40

segundos a 800 mW/cm²), exponencial (40 segundos, variando de 0 a 800 mW/cm²), intermitente (2 segundos a 600 mW/cm², intercalados por 2 segundos sem luz, num total de 80 segundos de exposição), em dois passos (10 segundos a 150 mW/cm², seguido de 30 segundos a 650 mW/cm²) ou, ainda, com arco de plasma (3 segundos a 1320 mW/cm²) ou diodo emissor de luz (40 segundos a 100 mW/cm²). Para a fabricação de filmes, aproximadamente 0,07 g de resina composta foi pressionada, entre tiras de poliéster e lâminas de vidro, e fotoativada com os mesmos protocolos descritos anteriormente. Os espécimes foram armazenados durante 24 horas ou 20 dias, antes das análises por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier. Após o cálculo do grau de conversão, os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey. Independentemente do período de armazenamento e do método de preparo dos espécimes, não houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes protocolos de fotoativação testados. Não foram observadas, tampouco, diferenças entre os dois períodos de armazenamento avaliados. De modo geral, os espécimes preparados na forma de pastilhas de brometo de potássio apresentaram um valor relativo de grau de conversão maior (59 a 66%) do que os filmes de resina composta (aproximadamente 47 a 59%).

VANDEWALLE *et al.*, 2004,⁹⁷ decidiram determinar quais as características mínimas necessárias de polimerização do material para suportar e garantir o vedamento marginal de uma restauração de resina composta de classe II, simulando condições clínicas. A resina composta foi inserida em incrementos ou de forma única, em cavidades de classe II de molares humanos extraídos, e exposta a diferentes densidades de energia de fotoativação. As densidades de potência utilizadas foram 400 ou 600 mW/cm² e o tempo de exposição variou de 10 a 40 segundos, a fim de emitir diferentes densidades de energia (4, 8, 12, 24 e 72 J/cm²). As restaurações foram submetidas a 100 ciclos térmicos (5 a 55°C) e 500.000 ciclos de fadiga (18 a 85N), utilizando uma esfera de aço inoxidável. A integridade marginal foi classificada por escores pela análise visual e através do teste de microinfiltração. O grau de conversão e a dureza Knoop do material foram determinados nas superfícies oclusais e

gingivais, em espécimes de dimensões idênticas às das restaurações. Adicionalmente, os autores testaram resistência e módulo flexional em barras de resina composta de dureza semelhante aos valores obtidos nas margens das restaurações. A densidade de energia apresentou um efeito significativo na formação de fendas marginais, mas não na microinfiltração. A água acelerou a degradação da integridade marginal em espécimes de baixo grau de conversão, obtidos com baixa densidade de energia (4 J/cm^2). Não se observou efeito significativo do carregamento termomecânico na formação de defeitos marginais ou na microinfiltração. Baseados na análise visual, os autores constataram que as características mínimas para garantir a qualidade da margem gengival devem incluir 80% do grau máximo de conversão do material, 73% do valor máximo de dureza e, aproximadamente, 70% da resistência e módulo flexional máximos para o material.

WATTS, 2005,¹⁰⁰ relacionou a formação das cadeias poliméricas com a cinética de polimerização e o comportamento mecânico das resinas compostas fotoativadas. O número de fótons e densidades de energia foram calculados e comparados a um modelo simples de monômeros resinosos. A expressão da densidade de potência emitida foi calculada em profundidade, considerando-se as conseqüências de se assumir o estado estável nos modelos de cinética de polimerização e razão de estresse de contração. As propriedades das resinas compostas fotoativadas, que resultam na geração e transmissão de estresses, são uma função complexa de: transporte de fótons, absorção destes pelos fotoiniciadores, possível ligação cruzada de radicais livres num estado não estável, redução do volume livre e desenvolvimento de uma rede elástica, cuja estrutura, visco-elasticidade e envelhecimento não são homogêneos. Dessa forma, o autor ressalta a importância de os pesquisadores estarem cientes da complexidade do mecanismo de polimerização, a fim de controlar as variáveis envolvidas e desenvolver modelos experimentais mais sofisticados para validar suas hipóteses.

ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005,¹⁰ investigaram a razão de polimerização de uma resina composta fotoativada em três níveis de densidade

de energia, cada um deles determinado por seis combinações entre densidade de potência e tempo de exposição. A contração de polimerização foi monitorada durante 1 hora após a fotoativação. As densidades de potência estudadas foram 50, 100, 200, 400, 800 e 1000 mW/cm², confirmadas por um radiômetro. O tempo de exposição variou entre 4 e 320 segundos, para resultar em densidades de energia de 4, 8 ou 16 J/cm². A emissão espectral de cada densidade de potência foi registrada através de um espectrofotômetro. A partir das curvas de contração, foi possível estimar a razão inicial de polimerização, que foi calculada e tomada como uma medida alternativa de densidade de potência. Os autores constataram que a contração de polimerização aumentou significativamente com o aumento dos níveis de energia e que, para cada nível de energia, a contração diminuiu significativamente com o aumento da densidade de potência.

CALHEIROS *et al.*, 2006,²⁰ verificaram a influência da densidade de energia, que denominaram exposição radiante, no estresse de contração, grau de conversão e propriedades mecânicas das resinas compostas. Duas resinas foram fotoativadas de modo contínuo a 600 mW/cm², totalizando 6, 12, 24 ou 36 J/cm² de energia. O estresse de contração foi monitorado durante 10 minutos. Grau de conversão, resistência e módulo flexional, e dureza Knoop foram mensurados após o armazenamento dos espécimes durante 24 horas a 37°C. A dureza e o grau de conversão foram determinados na superfície dos espécimes que esteve em contato com a fonte de luz. Espécimes em barra foram submetidos ao teste de flexão de três pontos, a fim de se determinar a resistência e o módulo flexional. Para a resina Filtek Z250, não se observou aumento no estresse de contração com a utilização de densidades de energia superiores a 12 J/cm². O grau de conversão e módulo flexional foram similares para todos os níveis de energia estudados, enquanto a resistência flexional aumentou, significativamente, entre 6 e 24 J/cm². Constatou-se diferença quanto à dureza Knoop entre os diferentes níveis de energia, exceto entre 12 e 24 J/cm². Para a resina Heliomolar, o estresse de contração e a dureza aumentaram significativamente com o aumento do nível de energia, exceto entre 24 e 36 J/cm². O grau de conversão, resistência e módulo flexional não

variaram, independentemente do nível de energia empregado. Os autores destacaram o comportamento distinto observado para os diferentes materiais investigados. O estresse de contração e a dureza mostraram-se mais sensíveis ao aumento da densidade total de energia, quando comparados às outras propriedades estudadas. A resistência flexional sofreu alteração somente para uma das resinas compostas investigadas, enquanto o grau de conversão e o módulo flexional não foram afetados pelos diferentes níveis de energia, para ambas as resinas utilizadas no estudo.

2.1.3 Desgaste

POWERS *et al.*, 1983,⁷⁴ avaliaram o desgaste *in vitro* de nove resinas experimentais e compararam os dados obtidos em laboratório ao desgaste a partir de um controle clínico de restaurações de resina composta. Dois testes *in vitro* foram conduzidos: o desgaste por impacto e a abrasão de dois corpos. Espécimes cilíndricos foram fabricados a partir de resinas compostas fotoativadas durante 60 segundos ou a partir de resinas quimicamente ativadas. Os espécimes fabricados para o teste de desgaste por impacto foram polimerizados sob uma tira de poliéster, para garantir lisura de superfície. Em seguida, uma hemi-esfera deslizou sobre a superfície do espécime a uma velocidade de 0,25 mm/s durante 14 vezes. A profundidade de penetração da esfera foi analisada em microscópio óptico. O desgaste de dois corpos foi desenvolvido pela abrasão dos espécimes, por uma lixa de carbetto de silício, a uma velocidade de 0,25 mm/s. O desgaste foi mensurado pela perda do material em altura, em microscópio óptico. A etapa clínica consistiu do acompanhamento de 54 restaurações de classe II, em 25 pacientes, ao longo de dois anos. Os autores observaram correlação estatisticamente significativa entre os dados de desgaste obtidos *in vitro* e *in vivo*.

LUTZ *et al.*, 1984,⁵⁸ pesquisaram o efeito do tamanho da cavidade, da composição do material, e do mecanismo de polimerização na resistência ao desgaste de restaurações, de classe I e II (MOD), de resina composta. Diversos tipos de resina composta foram analisados. O modo de polimerização também variou: calor e pressão (60 a 99°C em 30 minutos, 100°C durante 180 minutos), fotoativação (120 segundos de exposição à luz para cada incremento) ou ativação química. O desgaste *in vivo* foi obtido em estudos prévios, a partir de réplicas de restaurações, após 7 ou 180 dias de acompanhamento clínico, com auxílio de um perfilômetro, que determinou a perda total em altura no contato oclusal e a média de desgaste na área livre de contato. As restaurações também foram classificadas clinicamente de acordo com os critérios USPHS. Os autores constataram que a resistência ao desgaste aumentou à medida que o tamanho da cavidade diminuiu. Observou-se, também, que as restaurações quimicamente ativadas apresentaram maior desgaste, em comparação às restaurações fotoativadas; estas, por sua vez, apresentaram maior desgaste se comparadas à polimerização por calor e pressão. Para as resinas compostas estudadas naquela época, não se pôde considerá-las como substitutas adequadas ao amálgama, com relação ao quesito desgaste.

FINGER; THIEMAN, 1987,⁴¹ compararam, *in vitro*, o desgaste de vinte e quatro resinas compostas ao desgaste de uma liga de amálgama. O teste de desgaste foi conduzido na máquina desenvolvida pela ACTA. Neste aparato, uma roda que contém os espécimes gira contra uma roda antagonista de latão, sob 10 N de força. O terceiro meio, no qual os cilindros entraram em rotação, foi uma solução aquosa abrasiva, com 25% de sementes de papoula. A resistência ao desgaste foi determinada após 3,5 e 7 horas de contato e a perda de material foi mensurada em um perfilômetro. O desgaste em laboratório foi registrado entre 9 e 25 µm. Algumas resinas compostas apresentaram um padrão de desgaste semelhante ao do amálgama. O desgaste obtido *in vitro* foi correlacionado ao desgaste *in vivo*, obtido em estudos prévios. A partir desta correlação, os autores consideraram que o teste em laboratório reflete, de maneira razoável, o desgaste clínico dos materiais

restauradores. Desta forma, os autores concluíram que o método ACTA permite selecionar os materiais apropriados para o uso em dentes posteriores, possibilitando, assim, ser adotado no desenvolvimento de novos materiais restauradores. Os autores sugeriram, ainda, que este método pode ser utilizado para se estudar o efeito de parâmetros individuais no desgaste, tais como: condições ambientais, concentração de partículas de carga, tratamento das partículas de carga, porosidade, grau de conversão, entre outros. No entanto, ressaltaram que este teste serve apenas como parâmetro de comparação, não substituindo o teste clínico, em longo prazo.

PALLAV *et al.*, 1988,⁶⁶ desenvolveram um método *in vitro* que pode prever, em apenas alguns dias de teste, o desgaste oclusal de resinas compostas em longo prazo. Os autores compararam o desgaste de dezenove resinas compostas ao do amálgama e ao esmalte bovino. Os espécimes foram colados a uma roda que girava contra uma roda antagonista, sob força de 15 N. As rodas giraram imersas em um terceiro meio, durante 35 horas, com velocidades 30% diferentes entre si. O terceiro meio foi constituído de sementes de alpiste (36%) e polimetilmetacrilato (9%), em solução aquosa (55%). O desgaste foi determinado através de perfilometria. O esmalte apresentou o menor desgaste, seguido do amálgama. As resinas compostas fotoativadas mostraram desgaste significativamente menor do que a resina composta quimicamente ativada. Os autores compararam o desgaste obtido em laboratório, ao desgaste clínico obtido, para os mesmos materiais testados, em diversos estudos clínicos. Observou-se que os dados laboratoriais apresentaram boa correlação com os estudos clínicos. Os autores consideraram, portanto, que este método pode prever o desgaste de resinas compostas em longo prazo.

SATOU *et al.*, 1992,⁸³ avaliaram o resultado da polimerização química ou pela luz no desgaste e na dureza de resinas compostas, em comparação ao desgaste do esmalte humano. Corpos-de-prova foram fabricados com diferentes resinas fotoativadas, expostas à luz durante 1 minuto, ou com resinas quimicamente ativadas. Os espécimes foram

armazenados em água destilada a 37°C durante 24 horas e, então, receberam polimento com discos de lixa. O controle negativo foi determinado em esmalte, removido da face superior de incisivos superiores recém extraídos, e polido com discos de lixa. Os espécimes foram, então, submetidos ao teste de desgaste de três corpos, utilizando como abrasivos hidroxiapatita ou partículas de carborundum. Paralelamente, foi conduzido o teste de dureza Knoop. Observou-se variação considerável do padrão de desgaste, frente aos dois tipos de abrasivos testados, sob análise em microscopia eletrônica de varredura. O esmalte humano apresentou o menor desgaste e as resinas compostas híbridas desgastaram menos do que as de micropartículas. Observou-se, também, que as resinas fotoativadas apresentaram menor desgaste em comparação às resinas quimicamente ativadas. Os autores constataram correlação negativa entre o desgaste e os valores de dureza, ou seja, quanto maior a quantidade de desgaste, menor o valor de dureza Knoop.

PALLAV *et al.*, 1993,⁶⁷ avaliaram o efeito do atrito produzido pelo corpo antagonista em um modelo de desgaste de três corpos. O desgaste de resinas compostas e de amálgama foi avaliado *in vitro*, variando-se, gradualmente, a distância entre os substratos opostos. Espécimes de quatorze resinas compostas e um amálgama foram confeccionados e aderidos a uma roda específica para o aparato de teste desenvolvido pela ACTA. Esta roda girou contra uma roda antagonista, imersa em um terceiro meio composto de grãos de arroz e cascas de alpiste trituradas e misturadas em água e azida sódica. O experimento foi conduzido durante 200.000 ciclos, sob força de 15 N, variando-se a velocidade de rotação das rodas e, assim, a distância entre os corpos. Quando a distância entre os corpos em atrito foi reduzida de 10 para 3 μm , o desgaste aumentou significativamente por um fator de 2 ou 3 e mostrou-se de natureza exclusivamente erosiva. Quando a espessura do filme entre os corpos diminuiu para 1 μm , houve desaceleração do processo de desgaste, possivelmente pelo contato direto entre o corpo antagonista e as partículas salientes da resina composta. Nesta última situação, o fenômeno por contato direto entre os corpos predominou, minimizando a razão de desgaste dos diversos materiais restauradores, em extensões diferentes. A perda de material

devido à fadiga em sub-superfície não pôde ser demonstrada sob uma pressão de 45 MPa, na qual os experimentos foram conduzidos. A partir dos resultados obtidos neste estudo, pôde-se concluir que pequenas alterações na espessura do bolo alimentar, nas áreas de contato, podem resultar em modificações consideráveis na razão e intensidade de desgaste das resinas compostas, o que pode explicar, parcialmente, as inconsistências encontradas entre os estudos clínicos.

CONDON; FERRACANE, 1996,²² procuraram desenvolver um aparato que produziria, simultaneamente, desgaste através dos dois maiores mecanismos envolvidos: abrasão e atrição. Adicionalmente, os autores compararam os resultados obtidos para resinas compostas, utilizadas no teste de desgaste *in vitro*, com dados obtidos de estudos clínicos, bem como de outros estudos laboratoriais. A acurácia deste novo método foi testada pela análise de onze resinas compostas e um amálgama. Os espécimes foram submetidos à abrasão de três corpos, durante 50.000 ciclos. O desgaste quantitativo dos materiais foi determinado em perfilômetro. A área de esmalte desgastado também foi determinada, utilizando análise de imagens em microscopia eletrônica de varredura. O menor índice de desgaste por abrasão foi registrado para o amálgama e para as resinas híbridas de partículas menores ou de micropartículas. No entanto, o desgaste por atrito foi enfatizado para as resinas microparticuladas e uma resina híbrida com partículas pequenas. Observou-se uma forte correlação entre os resultados obtidos com o novo método de desgaste e os dados obtidos em estudos clínicos, citados na literatura. O desgaste do esmalte antagonista foi maior para as resinas compostas com partículas de carga maiores. O novo aparato apresentou correlação com outros aparatos de desgaste *in vitro*, com resultados semelhantes. Os autores concluíram que este novo método é capaz de caracterizar o comportamento do material, sob diversos mecanismos simultâneos de desgaste, com um único teste.

CONDON; FERRACANE, 1997,²³ lembraram que o desgaste das restaurações de resina composta ocorre devido a uma combinação de mecanismos complexos. Buscando isolar e determinar a contribuição dos diferentes mecanismos envolvidos no desgaste, os autores utilizaram um simulador oral, empregado em estudos prévios, no qual foram detectadas fortes correlações de dados laboratoriais de abrasão e atrição com dados clínicos. Os resultados prévios foram obtidos a partir deste aparato capaz de mimetizar a dinâmica mastigatória, empregando uma cúspide artificial de esmalte humano, carga em níveis fisiológicos e um terceiro meio semelhante ao bolo alimentar. Neste estudo, o terceiro meio utilizado foi água, com o intuito de investigar qual a influência do terceiro meio no processo de abrasão. Os autores constataram que a água reduziu o desgaste para a maioria dos materiais. Em um teste separado, a cúspide de esmalte foi substituída por uma cúspide de cerâmica semiporosa, de características de desgaste semelhante ao esmalte, quando antagonista à resina composta. O uso deste material como antagonista resultou em maior abrasão para os materiais compostos de partículas de carga maiores. Os autores concluíram, portanto, que o mecanismo de desgaste por aderência é um fator contribuinte do desgaste de resinas compostas.

CONDON; FERRACANE, 1997,²⁴ consideram que o desgaste clínico de restaurações de resina composta pode ser minimizado pela otimização do grau de conversão, concentração de partículas de carga e silanização. Portanto, procuraram investigar o efeito destes fatores no desgaste por abrasão e atrição de resinas compostas em comparação ao desgaste em esmalte. As resinas compostas foram formuladas com vidro de estrôncio (1 a 2 μm) e 50%-50% BisGMA/TEGDMA. Os períodos de exposição à luz foram variados: 9, 12, 25 e 40 segundos, produzindo graus de conversão em 56, 60, 61 e 63%, respectivamente. Em um dos grupos, além da fotoativação durante 40 segundos, adotou-se a complementação da polimerização pelo calor (120°C durante 10 minutos), atingindo um grau de conversão de 66%. Na segunda etapa dos experimentos, variou-se a concentração, em volume, das partículas de carga em 62, 53, 48, 37 e 28%. Em outra fase, variou-se a porção das

partículas de carga tratadas com silano em 100, 80, 60, 40 e 20%. Após a confecção dos espécimes, estes foram montados contra o esmalte antagonista em uma mistura de sementes e polimetilmetacrilato no simulador de desgaste, a fim de produzir abrasão (carga = 20N) e atrição (carga = 70N) simultaneamente. Após 50.000 ciclos, a profundidade de desgaste foi mensurada através de perfilometria. Os autores constataram que a profundidade de desgaste reflete o grau de conversão; porém, apenas dois grupos diferiram estatisticamente. Maior desgaste pôde ser correlacionado à menor concentração de partículas de carga, com aumento considerável abaixo de 48% em volume. O desgaste aumentou linearmente à medida que diminuiu a percentagem de partículas de carga tratadas com silano. A abrasão e a atrição não diferiram para nenhuma resina composta testada. O desgaste do esmalte antagonista não foi influenciado por nenhuma das variáveis estudadas. Os autores comprovaram a hipótese de que o grau de conversão, a concentração de partículas de carga e a silanização destas partículas afeta, diretamente, o desgaste das resinas compostas.

FERRACANE *et al.*, 1997,⁴⁰ ressaltaram que a perda do formato anatômico das restaurações tem sido citada como um fator limitante para o uso de resinas compostas em dentes posteriores. As propriedades físicas e, possivelmente, a resistência ao desgaste são influenciados pela extensão da polimerização do material. Desta forma, os autores variaram o grau de conversão obtido nas resinas compostas, sob hipótese de que a resistência ao desgaste e a degradação marginal tornam-se melhores com o aumento da conversão do material. Restaurações cilíndricas de 2,5 mm de diâmetro foram confeccionadas em primeiros e segundos molares artificiais, em próteses totais de 50 pacientes, com diversas resinas compostas. A resina composta foi fotoativada ($220 - 280 \text{ mW/cm}^2$) por diferentes períodos de tempo (9, 12, 25, 40 segundos ou 40 segundos + 10 minutos a 120°C) e as restaurações foram, posteriormente, polidas. O grau de conversão foi determinado por espectroscopia FTIR e variou de 55%, para 9 segundos de fotoativação, a 67%, para os espécimes submetidos à complementação da ativação pelo calor. Réplicas obtidas, inicialmente, aos 6 meses, 1 e 2 anos, foram mensuradas em

um perfilômetro, para se analisar o desgaste. Avaliadores independentes observaram a percentagem total da margem com degradação. O desgaste após 2 anos foi registrado em 144 μm , para 9 segundos de fotoativação, e 36 μm , para os espécimes submetidos à complementação da ativação pelo calor. O desgaste da resina Heliomolar variou entre 11 e 16 μm ao final de 2 anos. Os autores observaram uma forte correlação negativa entre o grau de conversão e a resistência ao desgaste das resinas compostas híbridas. A degradação marginal foi indiferente para as restaurações de resina composta híbrida, mas pôde ser reduzida de 40% para 15% para a resina de micropartículas, após o tratamento com calor. Os autores concluíram, portanto, que a resistência ao desgaste de uma resina composta pode ser aumentada através do aumento do grau de conversão.

KNOBLOCH *et al.*, 1999,⁵⁰ avaliaram a resistência ao desgaste e grau de conversão de resinas compostas diretas e indiretas. O esmalte humano foi utilizado como controle positivo para o teste de desgaste de dois corpos. As resinas compostas diretas foram fotoativadas durante 120 segundos, enquanto as resinas indiretas foram polimerizadas de acordo com as recomendações dos fabricantes. Dez espécimes de cada material foram fabricados e armazenados em água destilada a 37°C durante 7 dias. O desgaste relativo entre dois corpos foi determinado contra um disco adiantado de 30 μm , montado como antagonista no aparato para desgaste, durante 500 ciclos. O grau de conversão foi determinado através de espectroscopia FTIR. O esmalte apresentou desgaste significativamente menor do que os demais materiais testados. Foram constatadas diferenças significantes entre os materiais quanto ao desgaste e ao grau de conversão. De maneira geral, observou-se que as resinas compostas para uso indireto resultaram em menor desgaste que as resinas para uso direto. Constatou-se, também, que os materiais que apresentaram maior grau de conversão sofreram menor desgaste, embora os autores não tenham testado correlação entre as propriedades.

TANOUE *et al.*, 2000,⁹¹ investigaram o desgaste simulado por escovação de uma resina composta para uso indireto, fotoativada com três fontes de luz. Os espécimes foram fotoativados durante 180 segundos e armazenados durante 14 dias antes do ensaio de desgaste por escovação. Uma solução abrasiva foi utilizada e as escovas exerciam força calibrada de 350 g, durante 20.000 ciclos. A quantidade de resina composta perdida foi determinada por meio de perfilometria. O desgaste variou de 23,89 a 42,02 μm para os diferentes materiais e fontes de luz. O desgaste das resinas para esmalte foi significativamente menor em comparação às resinas para dentina. Observou-se, também, que os espécimes fotoativados com o aparelho de maior densidade de potência e amplo espectro resultou em menor desgaste.

PERRY *et al.*, 2000,⁶⁹ compararam um método de análise tridimensional a laser com avaliações subjetivas de desgaste em restaurações de resina compostas em dentes posteriores, ao longo de 2 anos. Foram selecionados pacientes necessitando de restaurações de classe II. Cem restaurações de resina composta foram realizadas e avaliadas aos 6, 12 e 24 meses. As restaurações foram moldadas para a confecção de réplicas. Vinte e uma réplicas das restaurações foram selecionadas e digitalizadas, e as imagens computadorizadas das superfícies dentais foram superpostas às imagens iniciais das restaurações. As mesmas réplicas foram submetidas à avaliação subjetiva, comparando-as a 18 modelos calibrados, de acordo com o método desenvolvido por Leinfelder. Diferenças significantes foram detectadas entre os dois métodos de avaliação. Os autores concluíram que o método de digitalização a laser é mais efetivo do que o método subjetivo na avaliação do desgaste de restaurações de resina composta.

ST-GEORGES *et al.*, 2002,⁸⁷ avaliaram o efeito de diferentes protocolos de fotoativação na resistência ao desgaste de resinas compostas. Preparos cavitários cilíndricos foram confeccionados em blocos cerâmicos. Uma resina composta híbrida ou fluida foi inserida nas cavidades e fotoativada por um dos quatro protocolos: 1) contínuo com lâmpada halógena (40 segundos a 550 mW/cm^2 , 22 J/cm^2); 2) gradual (20 segundos com densidade

de potência crescente de 100 a 850 mW/cm² mais 20 segundos a 850 mW/cm², 19 J/cm²); 3) laser de argônio (15 segundos a 725 mW/cm², 11 J/cm², ou a 600 mW/cm², 9 J/cm²); ou 4) arco de plasma (3 ou 5 segundos a 1980 mW/cm², 6 ou 10 J/cm²). Os espécimes foram armazenados em água deionizada a 37°C, durante 24 horas, e o excesso de material foi eliminado com uma lixa de carbetto de silício 1200. Os espécimes foram armazenados por mais 24 horas antes do teste de desgaste de três corpos. O terceiro meio foi composto de água e partículas de polimetilmetacrilato, para simular, artificialmente, o bolo alimentar, e foi interposto sobre a superfície de cada bloco cerâmico, durante 400.000 ciclos. Foram feitas moldagens para se replicar cada superfície em resina epóxica. A análise de desgaste foi conduzida através de perfilometria sobre as superfícies das réplicas de resina epóxica. O desgaste produzido pelos protocolos contínuo, gradual ou com arco de plasma foi estatisticamente igual entre si e menor do que o desgaste observado nos espécimes fotoativados com laser de argônio.

SUNEGÅRD-GRONBERG *et al.*, 2002,⁸⁹ compararam a dureza e o desgaste de um novo material cerâmico, para restaurações posteriores, com outros materiais restauradores. Dentre eles, materiais estéticos de uso direto, como resinas compostas, compômeros, cimentos de ionômero de vidro, foram comparados ao novo cimento cerâmico restaurador e ao cimento de fosfato de zinco. A dureza foi determinada em um microdurômetro Wallace e o teste de desgaste dinâmico foi conduzido no aparato desenvolvido pela ACTA. Todos os testes foram realizados após o armazenamento dos espécimes, por duas semanas. O novo cimento cerâmico, Doxa-Dent, mostrou-se tão duro quanto o cimento de fosfato de zinco e uma das resinas compostas. No entanto, o novo material foi significativamente mais susceptível ao desgaste do que as resinas compostas e o cimento de fosfato de zinco, e sofreu menos desgaste que os cimentos de ionômero de vidro. Os autores não puderam estabelecer uma correlação entre desgaste e dureza.

ASENJO-MARTINEZ, 2004,⁶ avaliou o desgaste e a rugosidade superficial de uma resina composta, após escovação simulada, considerando diferentes fontes de luz. Os espécimes de resina foram fotoativados por lâmpada halógena ou diodos emissores de luz a 300 ou 600 mW/cm², durante 20 segundos. Em seguida, os espécimes foram submetidos a 200.000 ciclos de escovação. A rugosidade superficial foi determinada em um rugosímetro, a partir da média das cinco leituras realizadas para cada espécime. O desgaste foi obtido por meio de perfilometria, pela diferença entre os traçados da superfície, escovada e não escovada. Observou-se que, quando a menor densidade de energia foi emitida (6 J/cm²), os espécimes fotoativados pelo aparelho de diodos emissores de luz apresentaram maior desgaste, em comparação aos espécimes fotoativados com luz halógena. No entanto, ambas as fontes de luz resultaram em desgaste equivalente quando a maior densidade de energia (12 J/cm²) foi empregada. Desta forma, o autor concluiu que quando baixas densidades de potência são adotadas, pode ser necessária uma compensação com o aumento do período de exposição do material restaurador à fonte de luz.

WANG *et al.*, 2004,⁹⁹ determinaram a resistência ao desgaste de diferentes resinas compostas híbridas e condensáveis, em teste de escovação simulada. Doze espécimes foram fabricados a partir das resinas SureFil, Alert, Filtek P60, Prodigy Condensable, Solitaire, Z100 e Silux Plus. Após o acabamento e polimento, registrou-se a massa e a rugosidade inicial dos espécimes. Os espécimes foram armazenados durante 2 semanas, para a estabilização do seu peso, e posteriormente submetidos ao teste de desgaste por escovação simulada, durante 100.000 ciclos (representativo de 4,2 anos), em um aparato próprio. Escovas macias exerceram uma carga de 200 g sobre os espécimes de resina composta, lubrificadas por uma suspensão de dentifrício em água deionizada. A perda de massa e a rugosidade superficial final foram determinadas após o teste de escovação. Diferenças significantes foram detectadas quanto à perda de massa e rugosidade superficial do material. A perda de massa média variou de 0,38 a 1,69%. A maioria das resinas compostas apresentou maior rugosidade após o teste de escovação.

Os autores concluíram que as resinas compostas condensáveis, ao contrário da expectativa, não apresentam maior resistência ao desgaste do que as resinas compostas híbridas, também indicadas para uso em dentes posteriores.

TAGTEKIN *et al.*, 2004,⁹⁰ investigaram a rugosidade superficial, a dureza e o desgaste de resinas compostas fotoativadas a partir de duas fontes de luz distintas, comparando-as ao amálgama. Cilindros de resinas compostas foram obtidos a partir da inserção em incremento único ou em diversos incrementos. Os espécimes foram fotoativados com um aparelho convencional de lâmpada halógena (40 segundos a 890 mW/cm²) ou com um aparelho arco de plasma (3 ou 5 segundos a 1600 mW/cm²). A rugosidade superficial foi mensurada com um rugosímetro. A dureza Vickers foi determinada, sob carga de 600 mN a 0, 2 e 5 mm de profundidade dos espécimes. O teste de desgaste foi conduzido em um aparato que desenvolvia movimentos circulares de uma esfera de alumina de 10 mm de diâmetro contra os espécimes, sob carga de 10 N. Houve diferença significativa quanto à dureza e ao desgaste para os materiais restauradores e fontes de luz testados. O material que apresentou maior dureza ($81,84 \pm 1,167$ VHN) mostrou, também, menor resistência ao desgaste ($0,024 \pm 0,00149$ mm³) e maior rugosidade superficial ($0,65 \pm 0,023$ µm). Os autores concluíram que a fotoativação com luz halógena parece estar mais indicada, por produzir propriedades mais favoráveis à resina composta, quando comparada ao arco de plasma.

NUNES, 2006,⁶³ avaliaram, comparativamente, o desgaste e a microdureza superficial de uma resina composta sob influência de diferentes fontes de luz (LED ou halógena), com variação de densidades de potência (300, 600 e 800 mW/cm²) e densidades de energia (6, 8, 12, 16, 24 e 32 J/cm²). Espécimes retangulares foram fotoativados, polidos e armazenados em água a 37°C, durante 7 dias. A dureza Knoop dos espécimes foi determinada sob carga de 100 g, durante 5 segundos. Posteriormente, os espécimes foram levados à máquina de desgaste simulado por escovação, durante 100.000 ciclos. O desgaste foi determinado por meio de perfilometria. A dureza

mostrou-se menor nos espécimes fotoativados com luz halógena a 300 mW/cm². O desgaste, no entanto, foi maior quando foram utilizadas baixas densidades de potência (300 mW/cm²) e energia (6J/cm²). Melhores resultados foram constatados quando se utilizou densidade de energia superior a 12 J/cm².

RAMP *et al.*, 2006,⁷⁷ mensuraram e compararam o desgaste de três corpos e a dureza Vickers de materiais resinosos fotoativados por luz halógena ou diodos emissores de luz. O espectro de ambas as fontes de luz foi determinado. Duas resinas compostas foram fotoativadas com ambos os aparelhos. Os espécimes fotoativados com luz halógena receberam 650 mW/cm², durante 30 segundos. A fim de compensar a baixa densidade de potência emitida pelo aparelho de diodos emissores de luz (250 mW/cm²), o tempo de exposição foi prolongado para 40 segundos. Desta forma, todos os espécimes receberam energia radiante equivalente (8,4 – 8,67 J/cm²), para os comprimentos de onda de 450 a 490 nm. Os espécimes foram polidos e armazenados a 37°C durante 24 horas antes dos testes de dureza e desgaste. A dureza Vickers foi determinada na superfície e base (2 mm) dos espécimes pela endentação do diamante, sob carga de 500 g, durante 15 segundos. Valores semelhantes de dureza Vickers no topo e na base dos espécimes permitiram constatar, indiretamente, grau de conversão equivalente a partir de ambas as fontes de luz. O desgaste de três corpos foi simulado em um aparato, utilizando partículas de polimetilmetacrilato como terceiro meio simulador do bolo alimentar. As amostras de resina composta tinham como antagonistas pontas esféricas de aço inoxidável, sob força de contato de 75 N e frequência de 1,2 Hz, durante 100.000 ciclos. O desgaste foi quantificado por meio de perfilometria. Não foram detectadas diferenças entre a dureza no topo e base dos espécimes, independentemente das fontes de luz testadas. A dureza foi, no entanto, influenciada pelos diferentes materiais investigados. Com relação ao desgaste, não foi constatada diferença quanto às fontes de luz utilizadas. O menor desgaste foi observado no grupo com maiores valores de dureza.

MARTINELLI *et al.*, 2006,⁵⁹ estudaram a resistência à abrasão de resinas compostas de uso direto, fotoativadas por diodos emissores de luz (LED) ou lâmpadas halógenas. Espécimes de diferentes resinas compostas foram fotoativados durante 40 segundos. Os discos de resina composta foram polidos para a leitura de rugosidade inicial em um rugosímetro, sendo, em seguida, armazenados em água a 37°C, durante 15 dias. Os espécimes foram pesados e submetidos ao teste de desgaste por escovação simulada, com uma solução abrasiva formulada com água e dentífrico. Após 100 minutos de escovação, os espécimes foram limpos e nova leitura de rugosidade superficial foi realizada. Nova pesagem foi conduzida para determinar a perda de massa após escovação. A resina composta com maior tamanho de partículas de carga apresentou a menor perda de massa e menor rugosidade superficial, indicando maior resistência à abrasão. Para uma das resinas compostas avaliadas, a fotoativação com LED promoveu resultados inferiores aos da lâmpada halógena. Para as resinas compostas fotoativadas com lâmpada halógena, não foi observada diferença significativa entre os materiais. Os autores concluíram, portanto, que a fonte de luz fotoativadora e a resina composta parecem interferir na resistência à abrasão do material restaurador.

O desgaste de materiais restauradores *in vivo* é bastante complexo, uma vez que diversos processos estão envolvidos. LAMBRECHTS *et al.*, 2006,⁵³ analisaram criticamente os fatores envolvidos no processo biológico de desgaste, bem como os aparatos utilizados para simular este processo em laboratório. Os autores descreveram os três mecanismos responsáveis pelo desgaste de materiais: a abrasão entre os corpos, a fadiga do material, a erosão química e a aderência. A abrasão das superfícies dentárias ou restauradas, também denominada abrasão entre três corpos, ocorre quando um terceiro meio de partículas abrasivas é interposto. Clinicamente, este processo ocorre quando as superfícies oclusais são separadas pelo bolo alimentar. Através deste processo, o terceiro meio abrasiona, preferencialmente, a matriz polimérica da resina composta, expondo as partículas de carga⁵³. Além da abrasão, ocorre também o desgaste por fadiga. A movimentação das moléculas superficiais é transferida para a subsuperfície,

causando ruptura das ligações intermoleculares e uma zona de dano subsuperficial. Eventualmente, microfendas formadas nesta região se coalescem para a superfície, provocando perda de fragmentos de material, induzida por fadiga. Um terceiro mecanismo envolvido no desgaste é a erosão. Embora este mecanismo não exerça desgaste propriamente dito sobre as superfícies envolvidas, a ação de agentes químicos enfraquece as ligações intermoleculares superficiais, portanto, potencializando outros mecanismos de desgaste. O desgaste por aderência foi descrito como uma alta atratividade entre as superfícies antagonistas, promovendo aderência entre as irregularidades dos substratos. Os autores concluíram que o desgaste é um processo complexo, no qual é pouco provável controlar todas as variáveis. A extrapolação dos dados *in vitro* para situações *in vivo* torna-se complicada porque existem diversos fatores biológicos interligados, que são difíceis de reproduzir.

2.2 Comportamento clínico da resina composta

O efeito do modo de polimerização tem sido estudado em diversas propriedades dos materiais restauradores à base de resina. Com relação ao comportamento clínico, no entanto, poucos estudos são encontrados na literatura, possivelmente devido ao alto custo e tempo despendidos em pesquisas clínicas. O interesse por este assunto, no entanto, pode ser verificado desde a introdução do sistema de fotoativação para a polimerização de materiais resinosos. WILDER *et al.*, 1991,¹⁰¹ acompanharam restaurações de resina composta de classe I e II fotoativadas por luz ultravioleta. As restaurações foram avaliadas, imediatamente e anualmente, até completar 5 anos, seguindo os critérios estabelecidos pelo USPHS. A partir do terceiro ano de avaliação, as restaurações foram analisadas de acordo com o método desenvolvido por Leinfelder, para avaliação indireta de desgaste. O desgaste detectado pelo método USPHS apresentou aumento progressivo nas

avaliações realizadas durante os primeiros anos, aparentemente devido à sensibilidade limitada do método em detectar desgaste precoce. O método indireto de comparações, a partir de modelos com desgaste pré-estabelecido de Leinfelder, apresentou uma razão de desgaste inversa, podendo ser o desgaste mais intenso observado nos primeiros três anos de avaliação, e seu declínio constatado ao final de cinco anos. Independentemente do material, o desgaste observado foi considerado pequeno pelos autores. Apenas 9% das restaurações exibiram mais que 300 µm de desgaste, ao final de cinco anos de avaliação. As restaurações em molares apresentaram maior desgaste que as restaurações em pré-molares. Não houve diferença estatisticamente significativa quanto ao desgaste entre os materiais fotoativados por luz ultravioleta. Tampouco se notou diferença entre o comportamento clínico de restaurações fotoativadas por luz ultravioleta e o de restaurações de resina composta quimicamente ativadas ou fotoativadas com luz visível, observado em estudo prévio dos mesmos autores.

SHIMIZU *et al.*, 1995,⁸⁴ publicaram um dos primeiros trabalhos de acompanhamento clínico, em longo prazo, de restaurações de resina composta fotoativadas por luz visível. Ao longo de dez anos, as restaurações foram avaliadas, anualmente, seguindo os critérios USPHS. Das 91 restaurações inicialmente incluídas no estudo, 68 puderam ser avaliadas ao final de 10 anos. As vinte e três restaurações perdidas resultaram de inflamação pulpar, extração do dente por doença periodontal, transformação dos dentes em pilares para prótese, devido à perda do dente adjacente, ou, na maioria dos casos, cárie. Os autores concluíram que pouco desgaste, boa adaptação marginal e estabilidade de cor são fatores que permitem indicar este material restaurador para dentes posteriores, desde que restrito a áreas pequenas.

ABDALLA; ALHADAINY, 1996,² avaliaram 120 restaurações de classe I de resina composta, em molares permanentes de 45 pacientes. Estes autores compararam quatro diferentes resinas compostas por um período de dois anos. As restaurações foram avaliadas no momento inicial e após 1 e 2 anos, de acordo com os critérios USPHS. Após um ano, pequenas diferenças

quanto à estabilidade de cor, manutenção da forma anatômica e adaptação marginal foram detectadas. Ao final de dois anos, os diferentes materiais testados não apresentaram diferenças quanto à descoloração marginal, mas diferenças puderam ser observadas quanto à estabilidade de cor, manutenção da forma anatômica e adaptação marginal. Os autores ressaltaram que o desgaste das restaurações pelo método USPHS é investigado contra as margens das restaurações e, por isso, desgastes eventuais em áreas de contato oclusal podem passar despercebidos.

WILDER *et al.*, 1999,¹⁰² acompanharam o efeito da fotoativação pela luz ultravioleta no desgaste de restaurações de resina composta, em longo prazo. Preparos cavitários de classe I e II, com margens definidas, foram preparados por dois clínicos. As margens em esmalte foram condicionadas e o agente adesivo foi aplicado. Os preparos foram restaurados com diferentes resinas compostas, fotoativadas por luz ultravioleta. As restaurações foram avaliadas por dois examinadores, ao final de 5, 10 e 17 anos, utilizando os critérios USPHS. Realizou-se, também, a avaliação indireta pela comparação com os modelos com desgaste pré-estabelecido de Leinfelder. Após 17 anos, 65% das restaurações foram reavaliadas. As avaliações dos diversos materiais restauradores foram agrupadas. Foi constatado critério “alfa” em 94% das restaurações para estabilidade de cor, 100% para descoloração marginal, 100% para integridade marginal, 92% para cárie, 72% para textura superficial e 22% para manutenção da forma anatômica. O desgaste médio, mensurado a partir das avaliações indiretas, foi detectado em $197 \pm 85 \mu\text{m}$ aos 5 anos, $235 \pm 72 \mu\text{m}$ aos 10 anos e $264 \pm 80 \mu\text{m}$ aos 17 anos. Os autores constataram diferenças significantes entre as restaurações, no momento inicial e aos 5 anos, para os dois métodos de avaliação, direto e indireto. De acordo com as observações coletadas, 75% do desgaste das restaurações ocorreram nos primeiros 5 anos de serviço clínico. Apesar de apenas 22% das restaurações não apresentarem desgaste visível, 76% de todas as restaurações avaliadas ainda foram consideradas como clinicamente aceitáveis, após 17 anos.

Poucos estudos pesquisaram o efeito de protocolos de fotoativação no comportamento clínico de restaurações realizadas com materiais resinosos. Um deles foi conduzido por OBERLANDER *et al.*, 1999,⁶⁴ que investigaram a influência do modo de fotoativação no comportamento clínico e integridade marginal de restaurações classe V de compômero. Oitenta restaurações foram confeccionadas em 20 pacientes, utilizando-se dois compômeros diferentes, com ou sem preparo cavitário. As restaurações foram fotoativadas durante 40 segundos, de modo contínuo a 800 mW/cm^2 , ou com redução da densidade de potência (150 mW/cm^2) durante os 10 primeiros segundos, como preconizado pela técnica gradual. Cada paciente recebeu quatro restaurações, uma para cada tipo de material restaurador e modo de fotoativação, que foram avaliadas, seguindo os critérios USPHS e por análise quantitativa em microscopia eletrônica de varredura, nos períodos inicial, 6 meses e 1 ano. Não foram observadas, clinicamente, cáries ou fendas marginais. Ao final de um ano de avaliação, 24 a 53% das margens foram consideradas “bravo”. A descoloração marginal esteve presente em 18 a 37% das restaurações. No entanto, não foi detectada diferença estatisticamente significativa entre os materiais ou modos de fotoativação testados, com e sem preparo cavitário. Quando o preparo cavitário não foi executado, a adaptação das margens em dentina foi significativamente pior, quando comparada às margens em esmalte. Desta forma, os autores concluíram que o preparo cavitário influenciou a qualidade marginal das restaurações. No entanto, a redução da densidade de potência durante a primeira parte da fotoativação não trouxe nenhuma melhora quanto à qualidade marginal das restaurações.

GAENGLER *et al.*, 2001,⁴³ estudaram o desempenho clínico de restaurações de classe I e II de resina composta, ao longo de dez anos. Cento e quinze restaurações de classe I e 79 de classe II foram inseridas em 73 pacientes adultos. A dentina exposta foi protegida com cimento de ionômero de vidro. A avaliação clínica foi conduzida no momento inicial, aos 6 meses e anualmente, até completar 10 anos, de acordo com os critérios USPHS para manutenção da forma anatômica, estabilidade de cor, textura de superfície, integridade marginal, descoloração marginal, cárie e aceitabilidade clínica.

Testes térmicos e elétricos foram registrados anualmente. Na reavaliação de dez anos, aproximadamente metade das restaurações puderam ser acessadas. A descoloração marginal e a forma anatômica foram preservadas na maioria das restaurações reavaliadas, embora rugosidade superficial e desgaste pudessem ser observados. A integridade marginal manteve-se ótima durante o primeiro ano, mas pôde-se observar contínua degradação marginal nas avaliações subseqüentes. Das 24 restaurações perdidas, as causas de falha foram cárie ou envolvimento do dente em tratamento protético, fraturas ou perda de retenção. Após 10 anos, a forma anatômica estava preservada em 44 restaurações, mas todas elas apresentavam a superfície rugosa e evidência de desgaste. Mesmo assim, 74,2% apresentavam-se clinicamente aceitáveis, com baixo índice de recidiva de cárie e satisfatória manutenção da forma anatômica. Os autores concluíram que o bom desempenho das restaurações confirma a segurança em se indicar resina composta para dentes posteriores.

TURKUN; AKTENER, 2001,⁹³ acompanharam restaurações de classe I e II de diferentes resinas compostas, durante dois anos. Trinta e oito pacientes receberam 88 restaurações de classe I e 32 restaurações de classe II. As restaurações foram moldadas com silicona de adição e réplicas foram obtidas, semestralmente, para a avaliação indireta da forma anatômica e da adaptação marginal. As restaurações foram avaliadas clinicamente por três examinadores, seguindo os critérios de RYGE. Os critérios de estabilidade de cor, descoloração marginal e recidiva de cárie não se alteraram, ao longo dos dois anos de acompanhamento. Degradação marginal foi observada em aproximadamente 15% das restaurações, dependendo do material avaliado. Alteração na textura superficial foi detectada para um dos materiais avaliados. Observou-se, ainda, que o método de avaliação indireto diferiu do método de análise direto, o que pode ser explicado pela diferença na sensibilidade dos métodos. De acordo com os autores, as três resinas compostas são consideradas apropriadas para uso em dentes posteriores. Com o aperfeiçoamento dos materiais restauradores, uma indicação criteriosa e respeito aos princípios restauradores, é possível admitir que uma restauração possa ter uma longevidade de 10 anos ou mais.

BRACKETT *et al.*, 2002,¹⁴ avaliaram o efeito da técnica de fotoativação no comportamento clínico de restaurações de classe V de resina composta. Trinta pares de restaurações foram inseridas em lesões cervicais não cariosas, sem preparo cavitário, com um adesivo autocondicionante. Uma restauração de cada par foi fotoativada com aumento exponencial da densidade de potência (0 a 800 mW/cm²), durante os primeiros 15 segundos, seguido da complementação da fotoativação com alta densidade de potência (800 mW/cm²), durante 25 segundos. A outra restauração de cada par foi fotoativada de modo contínuo, com alta densidade de potência (800 mW/cm²), durante 30 segundos. Os intervalos de tempo foram determinados para que os dois grupos recebessem, aproximadamente, a mesma dose total de energia. As restaurações foram avaliadas clinicamente, no momento inicial e após 6 e 12 meses, utilizando os critérios modificados de RYGE/USPHS. Não foi detectada diferença estatisticamente significativa quanto aos modos de fotoativação empregados no estudo. No entanto, o desempenho clínico do adesivo foi considerado insatisfatório, após a constatação de 35% de deslocamento das restaurações ao final de um ano de avaliação.

ANDERSSON-WENCKERT *et al.*, 2002,⁵ investigaram o efeito do modo de fotoativação e da técnica de restauradora na adaptação marginal de restaurações tipo sanduíche. Os autores relembram que a técnica sanduíche, com aplicação de cimento de ionômero de vidro modificado por resina, foi proposta para minimizar os estresses de contração das restaurações diretas de resina composta. Quarenta preparos cavitários tipo caixa foram restaurados pela técnica do sanduíche aberto em pré-molares agendados para extração. Diferentes protocolos de fotoativação, técnicas de restauração e tipos de matriz foram testados. Foram utilizadas matrizes metálicas em metade das restaurações e matrizes transparentes na outra metade. Metade dos dentes foi restaurada com incrementos horizontais e a outra metade foi restaurada com incrementos oblíquos. Os incrementos foram fotoativados (375 mW/cm²) com luz, aplicada diretamente sobre a superfície da restauração, durante 40 segundos, ou indiretamente através da superfície vestibular, durante 20 segundos, complementada pela iluminação direta durante 30 segundos. Em um

dos grupos, um material de separação foi colocado entre a resina composta e o cimento de ionômero de vidro modificado por resina. Um dos grupos foi restaurado como sanduíche fechado. Após 30 dias, os dentes foram extraídos e a qualidade marginal foi analisada em microscopia eletrônica de varredura. Ausência de fendas foi observada em 70% das margens em esmalte, independentemente do material restaurador. Em dentina, a ausência de fendas foi de 81% para cimento de ionômero de vidro modificado por resina e 56% para resina composta. A adaptação marginal cervical foi consideravelmente melhor para o cimento de ionômero de vidro modificado por resina (74%) do que para a resina composta (42%). Não foram constatadas diferenças significantes quanto à técnica restauradora, tipo de matriz ou modo de fotoativação na qualidade marginal das restaurações.

VAN DIJKEN, 2003,⁹⁶ investigou a durabilidade da combinação de duas técnicas sugeridas para minimizar a formação de estresses, em restaurações diretas de resina composta, em cavidades com alto fator de configuração cavitária. O autor ressaltou que, nestas cavidades, a contração de polimerização pode resultar em perda da adesão e, portanto, uma restauração laminada, utilizando uma base de menor módulo de elasticidade, pode favorecer a adaptação marginal. Um ou dois pares de restaurações de classe I foram confeccionadas em 29 pacientes. A primeira cavidade foi restaurada com compômero e resina composta, enquanto a segunda foi restaurada somente com resina composta. Ambas as restaurações foram confeccionadas pela técnica incremental, com camadas oblíquas e fotoativadas em dois passos. Inicialmente, a fotoativação foi realizada indiretamente através da superfície vestibular do dente, durante 20 segundos. Em seguida, a luz foi aplicada diretamente sobre a restauração, durante 30 segundos. Um aparelho regulado foi utilizado, com emissão de 370 mW/cm^2 . Noventa restaurações, 23 em pré-molares e 67 em molares, foram avaliadas anualmente, de acordo com os critérios USPHS modificados. Ao final de seis anos, 41 pares de restaurações foram avaliados. O índice de falha de 2,4% foi observado, tanto para as restaurações de resina composta como para as restaurações mistas. Uma restauração mista mostrou cor diferente do dente e uma restauração de resina

composta apresentou adaptação marginal insatisfatória. Dois casos de ligeira sensibilidade pós-operatória foram constatados em um paciente. Três restaurações foram substituídas, devido à ocorrência de cárie primária proximal. Alta durabilidade, sem diferença estatisticamente significativa entre as restaurações, foi observada para ambas as técnicas restauradoras e ambos os modos de fotoativação para cavidades de classe I.

DE SOUZA *et al.*, 2005,³¹ observaram o desempenho clínico de restaurações de resina composta micro-híbrida ou condensável, ao final de um ano de avaliação. Sessenta restaurações de classe I foram confeccionadas por dois operadores em 18 pacientes, utilizando três resinas compostas diferentes. As restaurações foram avaliadas, diretamente, quanto à estabilidade de cor, descoloração marginal, cárie, desgaste, adaptação marginal e sensibilidade pós-operatória. As restaurações foram consideradas ideais em 66,7% dos casos, para estabilidade de cor; 98,2%, para descoloração marginal; 100%, para cárie secundária; 92,6%, para desgaste; e 92,6%, para adaptação marginal. A sensibilidade pós-operatória foi encontrada em 5% das restaurações. As resinas compostas testadas apresentaram desempenho clínico excelente, ao final de 1 ano de avaliação, e podem ser consideradas como possibilidade restauradora de dentes posteriores.

POON *et al.*, 2005,⁷³ compararam restaurações de classe I e II de uma resina composta híbrida e uma condensável, por um período de 3,5 anos. Cento e cinco restaurações posteriores foram inseridas em 65 adultos por três cirurgiões-dentistas, com um sistema adesivo autocondicionante. As restaurações foram avaliadas, diretamente, de acordo com os critérios modificados de RYGE e, também, pela análise de réplicas e fotografias. Após 3,5 anos, os autores observaram que os principais motivos de falha foram recidiva de cárie e fraturas, nos casos de restaurações mais extensas, resultando em um índice de sobrevivência acumulado de 81,3% e 92%. Os demais critérios foram considerados satisfatórios, ao final do período de avaliação, sem diferença significativa entre os dois materiais avaliados. Descoloração marginal, manutenção da forma anatômica e textura superficial

sofreram menor alteração nos escores do que estabilidade de cor, integridade marginal e saúde gengival. Não foi constatada sensibilidade pós-operatória. O desgaste oclusal médio variou de 28,9% a 33,8%, para ambos os materiais investigados, sem diferença estatisticamente significativa. Os autores concluíram que o desempenho das resinas compostas foi semelhante e satisfatório em restaurações de classe I e de classe II de tamanho moderado.

KOUBI *et al.*, 2006,⁵¹ avaliaram clinicamente o efeito de diferentes materiais e técnicas de fotoativação, em restaurações de lesões cervicais não cariosas. As restaurações foram avaliadas, clinicamente, de acordo com os critérios USPHS e, indiretamente, por meio de fotografias. Quatorze pacientes, com pelo menos um ou dois pares de lesões cervicais não cariosas em oclusão e idade média de 50 anos, participaram deste estudo. Foram avaliadas uma resina microhíbrida, uma resina fluida e um cimento de ionômero de vidro modificado por resina. A resina composta foi fotoativada com um dos dois métodos: contínuo ou gradual. Cinquenta e seis restaurações (14 de cada material) foram inseridas por três clínicos experientes e calibrados. Dois examinadores independentes avaliaram todas as restaurações, após 1 ano. Ao final de um ano de avaliação, não foram detectadas restaurações com cárie secundária. Os índices de retenção variaram entre 85,7% e 100%, para os diferentes grupos estudados. A qualidade superficial das restaurações de resina composta ou fluida apresentou diferença significativa após 1 ano, quando comparadas às restaurações de cimento de ionômero de vidro modificado por resina. Ao final de um ano de avaliação, os grupos restaurados com resina apresentaram menos porosidade superficial, em comparação ao grupo restaurado com cimento de ionômero de vidro modificado por resina. Embora o cimento de ionômero de vidro seja de fácil aplicação e apresente maior taxa de retenção, demonstrou maior porosidade superficial quando comparado aos demais grupos. Não houve diferença, de modo geral, no comportamento clínico das restaurações fotoativadas pelos dois protocolos de ativação, exceto para formação de fendas e integridade marginal, quesitos nos quais a fotoativação contínua foi mais influenciada após 1 ano.

DEMIRCI; SANCAKLI, 2006,³² acompanharam restaurações de classe I de resina composta modificada por poliácidos. Trinta e seis voluntários receberam 87 restaurações conservativas, em fissuras rasas com envolvimento em dentina. A largura da cavidade esteve limitada em até 1/3 da abertura intercuspídea e as restaurações foram planejadas em regiões sem estresse oclusal. As restaurações foram fotoativadas durante 40 segundos, a 450 mW/cm². Avaliações clínicas foram conduzidas no momento inicial e anualmente até completar 5 anos, seguindo os critérios modificados de RYGE, por dois examinadores calibrados. Após um ano, observou-se manutenção da forma anatômica das restaurações. Ao final de dois anos, 98,8% das restaurações permaneceram como “alfa”, para o critério de manutenção da forma anatômica. Ao final de cinco anos de avaliação, apenas 3,1% das restaurações foram consideradas “beta”, para o quesito desgaste. Adicionalmente, o índice de retenção acumulado das restaurações foi registrado em 91,5%, sendo a necessidade de substituição justificada, nestes casos, pela recidiva de cárie. Exceto pelas restaurações substituídas, as demais restaurações foram consideradas clinicamente aceitáveis para os critérios de estabilidade de cor, desgaste, descoloração e adaptação marginal e textura superficial, ao final do período de avaliação, embora houvesse modificação dos critérios estabelecidos no baseline. Os autores relembram que a durabilidade das restaurações depende de múltiplos fatores. O manuseio do material, a capacidade de adesão do sistema restaurador, a técnica de inserção e fotoativação influenciam o envelhecimento das restaurações.

Proposição

3 PROPOSIÇÃO

Tendo em vista os diferentes parâmetros laboratoriais e clínicos para avaliação do comportamento de resinas compostas, os objetivos desta pesquisa foram:

- avaliar, laboratorialmente, o grau de conversão, o grau de amolecimento em etanol e o desgaste, obtido por diferentes métodos, da resina composta Z250, em função de diferentes fontes de luz e densidades de potência, mantendo-se padronizada a densidade total de energia;
- avaliar o desempenho clínico, em dentes posteriores, de restaurações oclusais de resina composta submetida aos mesmos protocolos de fotoativação adotados para o estudo laboratorial.

Assim, tem-se como primeira hipótese nula ausência de diferenças estatisticamente significantes para o grau de conversão, o grau de amolecimento em etanol e o desgaste, independentemente do método utilizado, obtidos a partir dos diferentes protocolos de fotoativação. A segunda hipótese nula sugere que não haverá diferença estatisticamente significativa no comportamento clínico de restaurações de resina composta fotoativada com diferentes fontes de luz e densidades de potência.

Material e Métodos

4 MATERIAL E MÉTODOS

A fim de alcançar os objetivos propostos, este estudo foi desenvolvido em duas etapas. Na etapa laboratorial, foram conduzidos os testes de grau de conversão por espectroscopia FTIR, determinação do grau de amolecimento em etanol, através da dureza Wallace, e mensuração do desgaste a partir de dois métodos: ACTA e por escovação simulada. A etapa clínica consistiu da avaliação direta de restaurações de resina composta, de acordo com os critérios modificados de RYGE.

4.1 Etapa laboratorial

As propriedades laboratoriais da resina composta (Z250, 3M ESPE) foram analisadas considerando os protocolos de fotoativação descritos no Quadro 1. As densidades de potência foram verificadas com um radiômetro (Curing Radiometer Model 100 P/N – 10503, Demetron Research Corporation, Demetron), com a finalidade de monitorar a densidade de potência emitida pelos aparelhos fotoativadores.

Quadro 1 – Protocolos de fotoativação utilizados neste estudo.

Grupo	Fonte de luz	Densidade de potência	Tempo	Energia total
1	QTH	600 mW/cm ² (QTH Max)	20 s	12 J/cm ² por incremento
2	(VIP, Bisco)	300 mW/cm ² (QTH ½ Max)	40 s	
3	LED	600 mW/cm ² (LED Max)	20 s	12 J/cm ² por incremento
4	(Ultrablue IS, DMC)	300 mW/cm ² (LED ½ Max)	40 s	

4.1.1 Grau de conversão

Porções de 0,05 g de resina composta não-polymerizada foram inseridas e prensadas entre tiras de poliéster e lâminas de vidro, a fim de se obter filmes muito finos, com aproximadamente 0,1 mm de espessura e 20 mm de diâmetro. Estes filmes foram fotoativados, seguindo os protocolos descritos (Quadro 1) e armazenados em água destilada a 37°C, por 7 dias.

Após este período, os espécimes foram submetidos à espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), com resolução de 4 cm⁻¹ (Figura 1). Os picos de absorção das ligações aromáticas foram registrados a 1608 cm⁻¹ (Abs 1608) e o pico das duplas ligações alifáticas (C=C) foi registrado em 1636 cm⁻¹ (Abs 1636). Os registros foram realizados em triplicata para cada condição. O mesmo procedimento foi executado, também, em triplicata para a resina composta não polymerizada.

Calculou-se, então, a razão entre Abs 1636 e Abs 1608, tanto para o material polymerizado como para o não polymerizado. A percentagem de duplas ligações remanescentes (DLR) foi determinada de acordo com a fórmula:

$$\% \text{ DLR} = \frac{(\text{Abs } 1636 / \text{Abs } 1608 \text{ para a resina polymerizada}) \times 100}{(\text{Abs } 1636 / \text{Abs } 1608 \text{ para a resina não polymerizada})}$$

A percentagem de grau de conversão das duplas ligações (GC) a partir do FTIR foi, então, calculada, adotando-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ GC} = 100 - \% \text{ DLR}$$

Média e desvio padrão foram calculados a partir da triplicata para cada condição experimental.

Figura 1 – A) Filme de resina composta, pressionado entre tiras de poliéster e lâminas de vidro. B) Este filme de resina composta era acoplado em uma janela do espectroscópio FTIR e o filme de resina composta era atravessado pelo feixe de *laser* (representado pela linha vermelha tracejada).

4.1.2 Dureza e grau de amolecimento em etanol

A dureza Wallace⁴⁸ mede a profundidade de penetração de um diamante Vickers sob uma carga pré-determinada. Portanto, o microdurômetro Wallace (Figura 2) determina, na realidade, uma medida de amolecimento do material: quanto maior o valor numérico da dureza, menos rígido é o material.

Foram fabricados seis espécimes (diâmetro = 5 mm; altura = 5 mm) para cada condição experimental (Quadro 1), armazenados a seco, em temperatura ambiente, por 7 dias. Uma marcação foi confeccionada na superfície irradiada pela luz. As superfícies de topo e base dos espécimes foram planificadas numa lixa de carbeto de silício # 1000.

Figura 2 – Microdurômetro Wallace. O extensômetro acoplado do lado direito do aparelho permite registrar a penetração do diamante Vickers no material em micrômetros. O cronômetro era utilizado para monitorar o tempo de endentação.

Cinco endentações foram confeccionadas na superfície irradiada de cada espécime, sob carga de 100 g, durante 1 minuto, e um valor médio foi calculado para cada espécime. A partir do valor médio dos espécimes, calculou-se o valor médio de dureza Wallace a seco, para cada condição experimental. Os espécimes foram, então, imersos em uma solução de etanol a 75% a 37°C por 7 dias, quando a dureza Wallace foi medida novamente.

4.1.3 Desgaste

4.1.3.1 Desgaste de três corpos pelo método da ACTA

O teste de desgaste de três corpos seguiu o método descrito por DE GEE *et al.*³⁰, utilizando a máquina de desgaste da ACTA (Academisch Centrum

Tandheelkunde Amsterdam – Academic Centre of Dentistry, Amsterdam). Os espécimes de resina composta foram confeccionados, individualmente, a partir dos dez compartimentos internos da roda de teste. A resina composta foi inserida em cada compartimento (comprimento = 13 mm, largura = 10 mm, altura = 2,5 mm) e recebeu os mesmos protocolos de ativação descritos anteriormente (Quadro 1). Para cada protocolo de ativação, três espécimes foram fabricados e distribuídos em rodas diferentes. Um espécime de cada roda foi fabricado com a resina composta P50 (3M ESPE), de desgaste conhecido ($22,5 \pm 3,25 \mu\text{m}$), e serviu como controle. Em seguida, os espécimes foram colados na roda com cianoacrilato, para evitar que se deslocassem durante o teste. A roda de teste, contendo os espécimes, foi montada contra cilindros adiamantados, de granulação decrescente, a fim de planificar sua superfície. Por último, a superfície dos espécimes foi polida contra uma lixa de granulação 600. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C, por 7 dias.

A roda de teste foi, então, montada na máquina de desgaste (Figura 3), contra uma roda antagonista de latão, por 20.000 ciclos sob uma força de 15N, em um meio pastoso, fabricado a partir de grãos de arroz e cascas de semente de alpiste. A roda antagonista, por ser mais estreita que a roda de teste, produziu um plano de referência de material não desgastado de cada lado dos espécimes. Em seguida, a roda de teste foi posicionada em uma base com *charriot*, sob uma ponta apalpadora acoplada a um extensômetro vertical.⁸⁹ A ponta apalpadora percorreu cada espécime em quinze pontos fixos determinados no *charriot*, de modo que a leitura dos espécimes fosse feita sempre na mesma posição, determinando, assim, a leitura inicial dos espécimes em micrômetros.

Após a leitura inicial, a roda de teste, contendo os espécimes, foi montada novamente contra a roda antagonista de latão, durante 200.000 ciclos. O meio abrasivo, ou seja, o terceiro corpo a participar do teste de desgaste, foi composto de grãos de arroz branco (120g) e cascas de semente de alpiste (30g) triturados, 275 mL de água e 1g de azida sódica. A espessura

do filme do terceiro corpo variou de um meio espesso até um meio relativamente fluido, à medida que o teste prosseguia e os grãos eram amassados. A velocidade da roda maior foi ajustada em uma rotação por segundo, enquanto a roda menor girava em uma velocidade 20% maior.

Figura 3 – A) Aparelho ACTA (desenvolvido por DE GEE *et al.*³⁰), para simular o desgaste de três corpos. B) Em pormenor, observa-se a roda contendo os espécimes de resina composta, em contato com a roda antagonista de latão. C) Esquema, adaptado de Pallav *et al.*,⁶⁶ da avaliação dos espécimes com a ponta apalpadora sobre um dos 15 pontos de leitura, em cada espécime.

Em seguida, novas leituras foram realizadas com a ponta apalpadora, nos mesmos pontos determinados anteriormente. A diferença de

altura entre a leitura inicial e a final foi utilizada para calcular o desgaste dos espécimes em micrômetros (Figura 4). Calculou-se, então, a média de desgaste obtido nos diferentes pontos, para cada espécime. A partir dos valores médios de cada espécime, calculou-se a média para cada grupo experimental.

Figura 4 – Representação do perfil de desgaste, obtido pelo método da ACTA. Cada linha corresponde a um dos três planos traçados pela ponta apalpadora.

4.1.3.2 Desgaste por escovação

Os espécimes de resina composta foram obtidos a partir de uma matriz com dimensões internas de 15 mm de comprimento, 5 mm de largura e 4 mm de profundidade, preenchida em incrementos. Os mesmos protocolos de fotoativação descritos anteriormente (Quadro 1) foram utilizados. A superfície dos espécimes foi regularizada em uma série crescente de discos de carbet

de silício (# 320, 600, 1200), sob refrigeração a água, e polida em disco de feltro com pasta adiamantada de 3 μm (KG Sorensen, Brasil). Os espécimes foram submetidos a um banho em ultra-som durante 10 minutos para eliminar possíveis resíduos, sendo, em seguida, armazenados durante 7 dias a 37°C.

Metade da superfície dos espécimes foi protegida com fita isolante, a fim de servir como superfície controle, ou não escovada (Figura 5). A escovação foi realizada na superfície irradiada pela fonte de luz, com escova dental macia (Colgate Classic, Colgate-Palmolive Indústria e Comércio Limitado). Uma solução abrasiva composta de dentífrício (Colgate MFP, Colgate-Palmolive) e água na proporção 2:1 foi utilizada no teste. A solução foi preparada imediatamente antes dos ensaios de escovação (ISO 14569-1).

Figura 5 – A) Metade de cada espécime foi protegida com fita isolante, durante sua fixação à barra metálica. A barra metálica contendo os espécimes foi fixada à máquina de escovação (B) para o teste de desgaste (C). D) Em detalhe, pode-se visualizar a cabeça da escova e a espuma da solução abrasiva, durante a escovação.

O aparato de escovação possui braços, que produzem movimentos de vai-e-vem, nos quais foram fixadas as cabeças das escovas dentais (Figura 5). Os espécimes foram fixados em uma barra metálica e esta foi fixada à máquina de escovação, sob as escovas. Somente metade da superfície dos espécimes foi escovada, permitindo identificar a área escovada e não escovada. A velocidade dos braços foi ajustada em 4,5 ciclos por segundo, com carga de 300 g. Durante a escovação, a máquina foi programada para injetar, sobre cada espécime, 0,4 mL da solução abrasiva a cada dois minutos, sob temperatura controlada ($37 \pm 2^\circ\text{C}$). A amplitude de excursão dos movimentos foi controlada em 20 mm, compatível com a dimensão de altura dos espécimes. O teste foi conduzido durante 100.000 ciclos.

Após o término de escovação, os espécimes foram lavados e submetidos à agitação ultra-sônica, por 10 minutos. Os espécimes foram secos com papel absorvente e o perfil de desgaste foi determinado em um rugosímetro (Hommel Tester T1000, Hommelwerke GmbH 240851, Alemanha). O perfil de desgaste foi determinado utilizando a ferramenta de perfil. Uma ponta apalpadora esférica de diamante percorreu a superfície de cada espécime em três trechos, da superfície não escovada para a superfície escovada (Figura 6). O tracejado (Lt) foi determinado em 10 mm, com limite de medição (Lm) de 9 mm. Os valores de tolerância foram determinados entre 8 e $40\text{ }\mu\text{m}$, e o limite *cut-off*⁷⁸ foi determinado em 0,8 mm. O rugosímetro foi conectado ao computador para a aquisição dos perfis de desgaste, com um programa específico (Turbo Datawin-NT 1.34, Copyright© 2001). Como a área não escovada se assemelha a uma linha reta, tornou-se fácil a identificação da região submetida aos ensaios de escovação. Assim, a perda de resina composta foi quantificada pelo perfil real, medindo-se a distância, em micrômetros, da linha da superfície não escovada até o vale mais profundo da superfície escovada (Figura 7).

Figura 6 – A) Rugosímetro utilizado para mensurar o perfil de desgaste. B) Ponta apalpadora de diamante sobre a superfície da resina composta. C) Ponta apalpadora, protegida pela cobertura plástica do aparelho, durante a leitura.

Figura 7 – Representação do perfil de desgaste obtido após o teste de escovação. Nota-se, nitidamente, a depressão a partir da superfície não escovada (à esquerda) para a superfície escovada (à direita). As linhas horizontais, traçadas entre os dois planos, permitem mensurar, em micrômetros, o desgaste de material em altura.

4.1.4 Planejamento estatístico da etapa laboratorial

O teste de Bartlett foi utilizado para verificar a homogeneidade de variâncias. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a dois critérios e teste de comparações múltiplas de Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$). O teste t-pareado foi conduzido para verificar possíveis diferenças entre os espécimes, quanto ao grau de amolecimento, antes e após o armazenamento em etanol ($\alpha = 0,05$).

4.2 Etapa clínica

Foram selecionados, junto às clínicas da Faculdade de Odontologia de Bauru, 31 voluntários jovens (13 a 30 anos) que apresentavam dentes posteriores com lesões cáries e/ou restaurações insatisfatórias de classe I (Figura 8), com necessidade de substituição, e em contato com os dentes antagonistas. Como critério de inclusão, verificava-se ausência de patologia periodontal ou hábitos parafuncionais. Os voluntários ou seus responsáveis legais assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que explicava aos pacientes o objetivo da pesquisa e os certificava do respeito à Resolução do Conselho Nacional de Saúde 196/96, que estabelece critérios para pesquisas em seres humanos (aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, processo 171/2004, Anexo1).

Na primeira sessão de atendimento, foram realizados a anamnese, as radiografias interproximais e o planejamento do tratamento. Após a seleção dos dentes que apresentavam condições para o estudo, planejou-se a distribuição das restaurações, de acordo com as variáveis a serem estudadas.

Figura 8 – A) Aspecto inicial de dentes necessitando de tratamento restaurador. Após o consentimento livre e esclarecido do paciente e sua inclusão na pesquisa, foram confeccionados os preparos cavitários de classe I (B) e restauração com resina composta (C).

O preparo cavitário foi realizado com broca carbide 245 (KG Sorensen), em alta e baixa rotação, de modo a determinar a forma de contorno pela remoção de todo tecido cariado ou material restaurador, determinando ângulos internos arredondados. Para auxiliar a remoção do tecido cariado, brocas esféricas, de tamanho compatível com a cavidade, foram utilizadas em baixa rotação. Quando necessária, proteção pulpar foi realizada, com cimento de hidróxido de cálcio (Dycal, Dentsply, Estados Unidos) ou cimento de ionômero de vidro modificado por resina (Vitrebond, 3M ESPE, Estados Unidos). Após essa etapa, procedeu-se o condicionamento com gel de ácido fosfórico (Condicionador Dental Gel, Dentsply) e aplicação do sistema adesivo (Single Bond 2, 3M ESPE). A restauração da cavidade foi realizada pela técnica incremental com a resina híbrida Filtek Z250 (3M ESPE, Estados Unidos), escolhida com base em diversas publicações e pesquisas laboratoriais prévias. Todas as restaurações foram realizadas, sob isolamento absoluto, por um único operador. O acabamento e o polimento foram executados após uma semana, empregando pontas multilaminadas e borrachas abrasivas. Foram confeccionadas 141 restaurações, fotoativadas com diodo emissor de luz (UltraBlue IS, DMC Equipamentos, Brasil) ou lâmpada de quartzo-tungstênio (VIP, Bisco Inc., Estados Unidos), a 300 ou 600 mW/cm². O tempo de fotoativação foi determinado em 40 e 20 segundos, respectivamente, de modo a emitir 12 J/cm² de energia total por incremento, adotando os mesmos protocolos de fotoativação descritos para a etapa laboratorial (Quadro 1). As densidades de potência dos aparelhos também foram monitoradas com um radiômetro (Curing Radiometer Model 100 P/N – 10503, Demetron Research Corporation, Demetron).

4.2.1 Avaliação clínica direta

A primeira avaliação (baseline) foi realizada imediatamente após o acabamento e o polimento das restaurações, por dois examinadores

calibrados. Foram adotados os critérios modificados de RYGE,⁸¹ para a avaliação do desempenho clínico das restaurações quanto à: descoloração da margem cavo-superficial, manutenção da forma anatômica (desgaste), integridade marginal, retenção, ocorrência de cárie secundária e sensibilidade pós-operatória (Quadro 2).

Avaliações subseqüentes foram conduzidas após seis meses e um ano. Tanto os examinadores como os pacientes não estavam cientes do tipo de polimerização adotada para cada restauração, a fim de caracterizar um estudo duplo-cego.

Quadro 2 – Critérios adotados para avaliação clínica das restaurações.

Categoria DESCOLORAÇÃO DA MARGEM CAVO-SUPERFICIAL	
Alfa (A)	Não existe evidência visual de descoloração na margem entre o material restaurador e a estrutura dentária adjacente.
Bravo (B)	Existe evidência de descoloração marginal na interface do dente com o material restaurador, sem evidência de penetração em direção pulpar.
Charlie (C)	Há evidência visual de descoloração e penetração, ao longo da margem do material restaurador, em direção pulpar.
Categoria MANUTENÇÃO DA FORMA ANATÔMICA (DESGASTE)	
Alfa (A)	A restauração mantém continuidade com a estrutura dentária adjacente. Pode haver ligeiro sub ou sobrecontorno. A sonda exploradora, colocada tangencialmente à superfície da restauração, não toca no ângulo cavo-superficial.
Bravo (B)	A presença de concavidade é evidente, porém não existe a evidência de exposição de dentina e/ou de base protetora.
Charlie (C)	Existe perda de material restaurador, expondo dentina e/ou base protetora.

Categoria INTEGRIDADE MARGINAL

Alfa (A) A sonda exploradora não se prende na margem da restauração ou se prende suavemente, mas sem a observação de uma depressão visível ao longo da margem.

Bravo (B) O explorador se prende, existe evidência de fenda e o explorador penetra ao longo da margem, indicando que a restauração não está bem adaptada à estrutura dentária. No entanto, não há exposição da dentina e/ou da base protetora, e a restauração não apresenta mobilidade.

Charlie (C) O explorador penetra na fenda até a junção amelodentinária, mas a restauração não está móvel, fraturada ou perdida.

Delta (D) A restauração apresenta mobilidade ou foi perdida.

Categoria RETENÇÃO

Alfa (A) Restauração presente

Charlie (C) Restauração ausente

Categoria CÁRIE SECUNDÁRIA

Alfa (A) Não há evidência visual de lesão cáriosa na interface dente/restauração.

Charlie (C) Há evidência visual de lesão cáriosa na interface dente/restauração.

Categoria SENSIBILIDADE

Alfa (A) Ausente

Charlie (C) Presente

4.2.2 Planejamento estatístico da etapa clínica

O teste Kappa foi adotado para averiguar a concordância interexaminadores. Os escores obtidos para cada categoria entre os diferentes grupos experimentais foram comparados através do teste exato de Fisher. Possíveis diferenças intragrupos, encontradas entre os períodos de avaliação, foram analisadas pelo teste de McNemar ($\alpha = 0,05$).

Resultados

5 RESULTADOS

Após a análise estatística, os dados laboratoriais e clínicos foram organizados separadamente.

5.1 Dados laboratoriais

A Tabela 1 apresenta os dados laboratoriais obtidos para as diferentes condições experimentais estabelecidas.

Tabela 1 – Médias e desvios-padrão da penetração da ponta de diamante na resina composta a seco (Hw seco), ou após 7 dias de imersão em solução de etanol a 75% (Hw etanol), grau de conversão (%GC) e desgaste *in vitro* (μm).

Protocolo	%GC*	Hw seco* (μm)	Hw etanol* (μm)	Desgaste ACTA* (μm)	Desgaste Escovação* (μm)
QTH Max	55,88 $\pm$ 0,39	8,63 $\pm$ 0,28	9,86 $\pm$ 0,30	23,23 $\pm$ 0,85	3,75 $\pm$ 0,37
QTH ½ Max	55,92 $\pm$ 0,77	8,87 $\pm$ 0,39	10,00 $\pm$ 0,50	21,33 $\pm$ 0,67	3,68 $\pm$ 0,81
LED Max	54,32 $\pm$ 1,09	8,95 $\pm$ 0,47	9,95 $\pm$ 0,45	22,37 $\pm$ 2,18	3,19 $\pm$ 0,25
LED ½ Max	55,46 $\pm$ 0,20	8,56 $\pm$ 0,31	9,93 $\pm$ 0,22	22,33 $\pm$ 2,48	4,78 $\pm$ 0,58

* Valores unidos por barras não diferem estatisticamente em $p = 0,05$.

O teste de Bartlett confirmou homogeneidade de variâncias para os valores de grau de conversão ($p = 0,423$), dureza Wallace a seco ($p = 0,108$) e após o armazenamento em etanol ($p = 0,302$), e para os valores de desgaste obtidos pelo método ACTA ($p = 0,393$) e por escovação simulada ($p = 0,2138$).

Frente à diferença numérica observada quanto ao grau de conversão, foi estabelecida a análise de variância a dois critérios. Não foi constatada diferença estatisticamente significativa quanto ao grau de conversão dos polímeros resultantes dos diferentes protocolos de fotoativação investigados ($p > 0,05$).

A profundidade de penetração do diamante Vickers nos espécimes, determinada pela dureza Wallace, também foi semelhante para todos os protocolos de fotoativação, tanto a seco ($p > 0,05$) como após o armazenamento em solução de etanol a 75% ($p > 0,05$). Com relação ao grau de amolecimento, no entanto, o teste t-pareado confirmou que os espécimes mostraram-se mais amolecidos após o armazenamento em etanol, em comparação à dureza Wallace conduzida a seco ($p < 0,05$).

A análise de variância a dois critérios tampouco detectou diferença estatisticamente significativa quanto ao desgaste dos espécimes, obtido pelo método da ACTA, a partir dos diferentes protocolos de fotoativação estudados ($p > 0,05$). No entanto, diferenças estatisticamente significantes foram evidenciadas entre os diferentes protocolos de fotoativação para o desgaste obtido pelo método de escovação simulada. Por este método, os espécimes fotoativados com LED a 300 mW/cm^2 apresentaram maior desgaste que os demais grupos.

5.2 Dados clínicos

Dos 31 participantes do estudo clínico, somente um não compareceu para a avaliação aos 6 meses, por motivo de mudança de endereço e,

portanto, a taxa de retorno de pacientes foi de 96,77%. Neste momento, 134 restaurações foram avaliadas, sendo que apenas uma restauração fotoativada com luz halógena a 600 mW/cm² foi classificada como “bravo”, para a categoria integridade marginal. Cento e trinta e três restaurações foram classificadas clinicamente como “alfa” para os demais critérios considerados (Tabela 2).

Na reavaliação de um ano, dois voluntários não foram localizados, perfazendo uma taxa de retorno de 93,55%. Das 130 restaurações avaliadas nesse período, a maioria apresentou classificação “alfa” para os critérios considerados, e todas se mostraram clinicamente aceitáveis ao final de um ano de serviço clínico (Figuras 9 e 10). Das restaurações classificadas “bravo”: cinco foram por desgaste, quatro por integridade marginal e uma devido à descoloração marginal (Tabela 2).

A concordância entre os examinadores foi excelente ($\kappa = 0,96$). Nos poucos casos em que houve discordância, os examinadores chegaram a um consenso.

O teste exato de Fisher foi empregado para comparar os escores obtidos para cada categoria entre os diferentes grupos experimentais (diferenças intergrupos). Não foi detectada diferença estatisticamente significativa entre as fontes de luz e protocolos de fotoativação investigados para descoloração marginal, manutenção da forma anatômica, integridade marginal, retenção, cárie e sensibilidade pós-operatória ($p > 0,05$).

O teste de McNemar foi conduzido para detectar possíveis diferenças entre os diferentes períodos de avaliação para cada categoria em cada protocolo de fotoativação (diferenças intragrupos). Todavia, não foi constatada diferença estatisticamente significativa no desempenho clínico das restaurações entre baseline, 6 meses e 1 ano ($p > 0,05$).

Figura 9 – Restaurações insatisfatórias (A) que foram substituídas. Pode-se observar seu aspecto inicial (B), aos 6 meses (C) e após 1 ano (D).

Figura 10 – Lesão cariosa (A) necessitando de tratamento restaurador. A restauração de resina composta pode ser visualizada imediatamente após sua confecção (B), aos 6 meses (C) e ao final de 1 ano (D).

Tabela 2 – Percentagem de restaurações classificadas clinicamente de acordo os critérios USPHS. O número de restaurações avaliadas em cada período encontra-se entre parênteses.

Categoria	protocolo	baseline	6 meses		1 ano	
		Alfa	Alfa	Beta	Alfa	Beta
Descoloração marginal	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	96,9% (31)	3,1% (1)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	LED Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
Forma anatômica	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	96,9% (31)	3,1% (1)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	96,9% (31)	3,1% (1)
	LED Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	97,0% (32)	3,0% (1)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	93,9% (31)	6,1% (2)
Integridade marginal	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	LED Max	100% (36)	97,1% (33)	2,9% (1)	100% (33)	0% (0)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	87,9% (29)	12,1% (4)
Retenção	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	LED Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
Cárie	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	LED Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
Sensibilidade	QTH Max	100% (34)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	QTH ½ Max	100% (35)	100% (33)	0% (0)	100% (32)	0% (0)
	LED Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)
	LED ½ Max	100% (36)	100% (34)	0% (0)	100% (33)	0% (0)

Discussão

6 DISCUSSÃO

A busca constante pelo aperfeiçoamento de materiais e técnicas restauradoras visa aprimorar o comportamento clínico da resina composta como material restaurador para uso direto. As diversas pesquisas realizadas com resinas compostas, em todo o mundo, visam atingir padrões de excelência funcional e estética em restaurações. Desta forma, reformulações constantes vêm sendo incorporadas às resinas compostas.

As propriedades das resinas compostas dependem, basicamente, de sua composição. O tipo e concentração de monômeros resinosos, agentes fotoiniciadores, inibidores e opacificadores, a composição e tamanho das partículas de carga podem influenciar o grau de conversão e, conseqüentemente, o comportamento final do material.^{24, 35, 39, 61} Uma vez que diferenças na composição do material podem alterar as propriedades das resinas compostas, uma única resina composta (Filtek Z250, 3M ESPE) foi utilizada neste estudo. Desta forma, pôde-se isolar os fatores de variação estudados (fontes de luz e densidades de potência).

Contudo, a composição do material não é o único fator determinante das propriedades do material fotoativado. A qualidade do material depende, ainda, da fonte de luz fotoativadora.^{8, 20, 60, 63, 70, 75, 76, 94, 97, 103, 104, 106} Assim, o espectro de luz, a densidade de potência e a dose total de energia emitida podem ser fundamentais para uma adequada polimerização do material. Com o objetivo de compreender melhor o assunto pesquisado, neste estudo, serão discutidos os fatores envolvidos no processo de fotoativação das resinas compostas.

Primeiramente, é importante conhecer a qualidade da luz utilizada. A luz visível é a porção do espectro eletromagnético cuja radiação pode ser percebida pelo olho humano e abrange comprimentos de onda entre 400 e 700 nm. O espectro de luz visível pode ser dividido de acordo com a frequência da

luz, caracterizada por uma cor. A luz utilizada na fotoativação das resinas compostas corresponde a comprimentos de onda mais curtos, entre 400 e 500 nm,⁶² caracterizados, predominantemente, pelas cores violeta e azul. Estas frequências são capazes de sensibilizar o agente fotossensível das resinas compostas, em especial a canforquinona, cujo pico máximo de absorção de luz ocorre em 468 nm.⁴² Portanto, quanto mais fótons forem emitidos na região do espectro entre 450 e 490 nm, considerando-se um mesmo nível de densidade de energia, mais eficiente será a fotoativação das resinas compostas contendo canforquinona como agente fotossensível.⁶²

Portanto, a polimerização das resinas compostas fotoativadas resulta de uma reação fotoquímica, iniciada pela formação de radicais livres, a partir da energia luminosa, que induzem a formação de uma rede polimérica. O agente fotossensível (frequentemente, a canforquinona), uma vez sensibilizado pela luz, atinge um estado excitado. Neste estado, o agente fotossensível reage com um co-iniciador, ou seja, uma amina terciária. Desta reação, resultam radicais livres que iniciam a reação de polimerização pela competição com os sítios das duplas ligações entre os carbonos⁴². A transformação das duplas ligações dos monômeros em ligações simples, na constituição de polímeros, é conhecida como grau de conversão.

Desta forma, o grau de conversão das resinas compostas pode ser influenciado pelo espectro de luz emitido, a partir das diferentes fontes de luz⁶², uma vez que essa luz pode ser gerada de maneiras diferentes. Os aparelhos de lâmpadas de quartzo-tungstênio (QTH) emitem luz quando uma corrente elétrica ativa o filamento de tungstênio, envolvido por gás halogênio, no interior da lâmpada. O espectro de luz produzido por este tipo de lâmpada abrange uma faixa ampla de comprimentos de onda, sendo necessário o uso de filtros para a emissão de comprimentos de onda entre 400 e 500 nm, ou seja, na faixa de absorção dos agentes fotossensíveis. Os aparelhos de diodos emissores de luz (LED), por outro lado, geram luz azul por eletroluminescência, quando uma tensão é aplicada em seus semicondutores. Estes aparelhos emitem uma faixa mais estreita do espectro, de 450 a 490 nanômetros⁴². A

diferença na emissão dos espectros de luz pode ser visualizada a partir dos espectros registrados em um espectrômetro (AvaSpec Fiber Optic Spectrometer, Avantes), para os diferentes aparelhos utilizados neste estudo (Figura 11).

Figura 11 – Espectros de luz emitidos pelos aparelhos utilizados neste estudo: LED (Ultrablue IS, DMC) e QTH (VIP, Bisco).

Além da possível diferença existente entre a emissão espectral das fontes de luz, outro fator relacionado com a fonte fotoativadora é a densidade de potência emitida, também conhecida como intensidade de luz. A densidade de potência corresponde à concentração de energia, considerando uma área determinada, e é mensurada em mW/cm^2 . Diversos estudos demonstraram que a densidade de potência é um parâmetro importante a ser considerado no processo de fotoativação. Quanto maior a densidade de potência, maior o

número de fótons disponíveis para excitar as moléculas fotossensíveis disponíveis para a reação de polimerização.⁷⁹ De maneira geral, o aumento da densidade de potência, para um mesmo período de exposição à luz, resulta em melhores propriedades mecânicas: maior o grau de conversão, dureza, resistência e módulo flexional, profundidade de polimerização e menor desgaste.^{6, 26, 57, 60, 63, 70, 85, 87} Vale ressaltar que nem todos os fótons emitidos serão absorvidos e, portanto, o coeficiente de absorção de fótons, assim como a densidade de potência, também é importante no processo de polimerização das resinas compostas.⁶¹

Um outro aspecto relacionado à fonte fotoativadora é a densidade de energia. Sabe-se que as propriedades da resina composta são influenciadas, principalmente, pela densidade de energia total emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores.^{10, 27, 29, 34, 44, 45, 70, 106} A densidade de energia corresponde à integral da densidade de potência, por unidade de área, aplicada por um determinado período de tempo. Quando a densidade de potência permanece constante durante o intervalo de tempo, o valor da integral de energia total é dado pelo produto entre densidade de potência e tempo. Este parâmetro é, geralmente, utilizado para se investigar a dependência entre fotopolimerização e protocolos de irradiação.¹⁰⁰ Desta forma, sugeriu-se o conceito de densidade de energia total para a fotoativação das resinas compostas. De acordo com este conceito, altas densidades de potência, *per se*, não são necessárias para promover a polimerização adequada de restaurações de resina composta, uma vez que diferentes densidades de potência podem resultar na mesma conversão final, quando a mesma densidade de energia é despendida.^{27, 29, 44, 45, 106} Baseado em medidas de grau de conversão, HALVORSON *et al.*, 2002,⁴⁵ concluíram existir uma relação recíproca entre densidade de potência e tempo de exposição. Desta forma, estes autores constataram que a correlação entre o tempo de exposição e densidade de potência permite estabelecer um perfil universal de polimerização, pensando-se em dose total de energia aplicada.

No entanto, uma análise detalhada dos resultados de HALVORSON *et al.*, 2002,⁴⁵ revelou significância estatística entre a combinação da densidade

de potência e tempo de exposição, para os diferentes níveis de energia estudados.⁷⁰ Adicionalmente, o fato de polímeros resultantes de diferentes modos de ativação apresentarem grau de conversão semelhante não implica em propriedades mecânicas iguais.^{7, 11} Vale ressaltar que, para um determinado nível de densidade de energia, diferentes combinações entre tempo de exposição e densidade de potência podem ser usadas para a fotoativação de materiais resinosos. Adicionalmente, a luz pode ser emitida em diferentes modos de ativação. Desta forma, os diferentes modos de ativação, ou diferentes combinações de densidade de potência e duração da exposição, podem influenciar as propriedades de materiais fotoativados,^{7, 11, 70, 104, 105} possivelmente porque modificam o grau de conversão e a formação das cadeias poliméricas.

Para sistemas restauradores fotoativados, a teoria da cinética de polimerização determina que o grau de conversão depende do produto entre o tempo de exposição à luz, elevado à potência 1, e a densidade de potência, elevada à potência 0,5 - 0,6.^{25, 57} Isto significa que não existe reciprocidade entre densidade de potência e tempo de exposição, e que as propriedades mecânicas dos materiais resinosos são influenciadas não somente pela densidade de energia, mas também pelas diferentes combinações entre densidade de potência e tempo de exposição.⁷⁰

Um início mais lento do processo de polimerização pode resultar em uma estrutura polimérica mais linear, com menor concentração de ligações cruzadas, quando comparada a uma rápida conversão promovida pela irradiação com altas densidades de potência.^{7, 11} Por outro lado, uma conversão inicial rápida pode resultar em cadeias poliméricas mais curtas.^{46, 56} Desta forma, diferentes combinações entre densidade de potência e tempo de exposição modificam a cinética de polimerização. Durante o processo de polimerização, a resina composta é rapidamente transformada de um estágio fluido para sólido, com conversão progressiva e, diretamente, relacionada ao desenvolvimento das propriedades visco-elásticas do material, como a temperatura de transição vítrea e o módulo de elasticidade.¹⁰⁰ Os diferentes

tipos de lâmpadas desenvolvidas para a fotoativação e os diferentes modos de polimerização levaram à pesquisa intensiva da influência do tempo ou cinética no processo de polimerização e no desenvolvimento das propriedades visco-elásticas. De acordo o trabalho de D'ALPINO, 2005,²⁶ as diferentes fontes de luz podem influenciar a cinética de polimerização. No entanto, talvez seja tendencioso estender esta afirmativa para toda a classe de aparelhos, uma vez que, no trabalho de D'ALPINO, em especial, os diferentes aparelhos testados (LED, halógena e arco de plasma) também emitiam densidades de potência diferentes. Desta forma, talvez o efeito atribuído aos aparelhos seja, de fato, devido às diferentes densidades de potência emitidas.

Durante a conversão dos monômeros resinosos em polímeros, ocorre uma alteração volumétrica do material, conhecida como contração de polimerização.^{33, 82} De maneira geral, a contração volumétrica está diretamente relacionada ao grau de conversão das resinas compostas.⁸² O aumento do grau de conversão está, geralmente, associado a melhores propriedades mecânicas, mas também ao maior estresse de contração.¹⁷ Na maioria das vezes, os objetivos da fotoativação tornam-se antagônicos: estabelecer uma polimerização adequada com mínima contração.¹⁰⁰

A contração de polimerização é inerente às resinas compostas, resultante do processo de polimerização. Com a aproximação das moléculas durante a reação de polimerização, há a diminuição do volume do material. Clinicamente, a contração de polimerização se traduz na formação de fendas na interface dente-restauração, propiciando, assim, a sensibilidade pós-operatória e a formação de nichos para o desenvolvimento de bactérias. Para contornar estes problemas, buscou-se minimizar a contração de polimerização, através da inserção do material em incrementos, da utilização de bases cavitárias, da modulação da fotoativação,^{7, 28} da diminuição da densidade de potência emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores,^{56, 95} ou, ainda, pela adição de agentes inibidores ou redução na concentração do sistema iniciador da resina.⁹⁸ A redução da razão de polimerização visa promover uma lenta reação de polimerização, favorecendo o fluxo de escoamento do material e,

conseqüentemente, melhorando a integridade marginal²⁸ e reduzindo a formação de fendas na interface dente-restauração.^{7, 11, 29, 49} Desta forma, o emprego de baixas densidades de energia ou a modulação da fotoativação podem ser benéficos sob este aspecto. Por outro lado, minimizar a contração de polimerização, pela modulação da polimerização, pode comprometer o grau de amolecimento do material em etanol.^{7, 11}

6.1 Etapa laboratorial

6.1.1 Grau de conversão

Dentre os diversos métodos para se determinar o grau de conversão de materiais resinosos, têm-se métodos indiretos, como a análise da liberação de monômeros não convertidos para o meio aquoso,^{38, 80} testes de dureza^{37, 80} e determinação de variações de temperatura, por análise térmica diferencial, durante a polimerização.⁴⁷ Os métodos de espectroscopia (micro-Raman, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, espectroscopia no infravermelho próximo), no entanto, oferecem a possibilidade direta na determinação do grau de conversão, porque detectam as duplas ligações de carbono (C=C) presentes nos monômeros residuais não polimerizados,^{71, 88} sendo o método de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), tradicionalmente, utilizado em estudos de grau de conversão de materiais resinosos. Trata-se de um método rápido e de simples execução.

O grau de conversão apresenta um efeito crítico nas propriedades mecânicas das resinas compostas. O grau de conversão é uma das propriedades mais importantes dos polímeros, apresentando alta correlação com a dureza, o módulo flexional e o módulo de elasticidade.^{37, 39} O grau de conversão também está fortemente correlacionado à contração de

polimerização: quanto maior o grau de conversão, maior a contração de polimerização do material,^{10, 17, 19, 85} até que se atinja o ponto de saturação da reação.¹⁹ De maneira geral, o grau de conversão é pouco influenciado por pequenas variações nos modos de fotoativação quando se padroniza a densidade de energia emitida.^{10, 27, 29, 34, 44, 45, 70, 106}

A concentração de fótons emitidos na região do espectro entre 450 e 490 nm, como ocorre com os diodos emissores de luz (Figura 11), sugere maior eficiência na fotoativação das resinas compostas contendo canforquinona como agente fotossensível.⁶² Neste estudo, no entanto, isto não refletiu diferença quanto ao grau de conversão da resina composta frente aos diferentes protocolos de fotoativação. Pelos valores observados na Tabela 1, constata-se que as densidades de potência estudadas (300 e 600 mW/cm²) e os períodos de exposição adotados (40 e 20 segundos, respectivamente) resultaram no mesmo grau de conversão da resina composta, para a densidade total de energia estipulada neste estudo (12 J/cm²). É possível que isso tenha ocorrido porque a reação de polimerização é autolimitante, uma vez que a conversão de monômeros resinosos em polímeros não é completa.⁴⁵ Durante a progressão da reação de polimerização, a razão de polimerização diminui rapidamente à medida que a rigidez do material impede a mobilidade dos monômeros remanescentes e das cadeias poliméricas em crescimento para continuar a reação, mesmo com o aumento da densidade total de energia.¹⁹ Portanto, a saturação da reação de polimerização sugere que as propriedades mecânicas não podem ser melhoradas, a partir deste ponto. Adicionalmente, o grau de conversão da resina composta foi determinado após uma semana da fotoativação, quando, praticamente, existe maturação máxima da reação de polimerização, uma vez que grande parte da conversão da resina composta Z250 ocorre durante as primeiras 24 horas.⁶⁵

O grau de conversão obtido neste estudo é semelhante aos valores numéricos reportados por OBICI *et al.*, 2004,⁶⁵ que testaram o efeito de diferentes protocolos de fotoativação no grau de conversão da mesma resina composta e com o mesmo método de análise. A redução da razão de

polimerização, obtida neste estudo pela diminuição da densidade de potência emitida pelos aparelhos fotoativadores utilizados, não influenciou o grau de conversão. A redução da densidade de potência seria justificada por melhorar a cinética de polimerização, por minimizar os estresses de contração no momento da fotoativação.^{29, 56, 57, 82, 85} De acordo com VENHOVEN *et al.*, 1996,⁹⁸ e LOVELL *et al.*, 2001,⁵⁶ o grau de conversão é pouco influenciado pela variação na razão de polimerização, a menos que uma energia insuficiente seja emitida.

Uma vez que a densidade total de energia foi mantida, observou-se que as diferentes densidades de potência adotadas neste estudo resultaram em um grau de conversão semelhante. Este achado confirma o resultado de diversos trabalhos, que mostraram que pequenas variações no modo de ativação produzem um grau de conversão semelhante, desde que a energia total seja mantida.^{10, 29, 30, 34, 44, 45, 70, 106} Em um único estudo publicado por PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005,⁷⁰ o grau de conversão diminuiu com o aumento da densidade de potência, para uma mesma densidade de energia. Isto provavelmente ocorreu no estudo destes autores porque a densidade de potência variou de 50 a 1000 mW/cm². Desta forma, para as altas densidades de potência, o tempo de exposição foi muito curto e, portanto, o material pode ter sido subpolimerizado. Isto comprova que o tempo de exposição à luz também é um fator importante no processo de polimerização das resinas compostas e, conseqüentemente, no grau de conversão.

6.1.2 Dureza e grau de amolecimento em etanol

A dureza é referenciada nas especificações de materiais dentários como a propriedade do material em resistir à deformação permanente, quando uma carga é aplicada. Desta forma, quanto maior a dureza do material, maior é sua resistência à deformação. É um método rápido e simples, bastante

utilizado em testes de controle de qualidade, em amostras pequenas. Pode ser mensurada em escala macro, micro ou nano, de acordo com a carga aplicada e o deslocamento obtido. Quando houver interesse em propriedades de superfície, que envolvam processos de fricção ou desgaste, por exemplo, a macro-endentação torna-se muito grande em comparação à escala das características de superfície. Em materiais de múltiplas fases, não homogêneos, ou susceptíveis a trincas, a mensuração da microdureza encontra-se mais indicada. A microdureza é determinada quando uma carga de 15 a 1000 g é aplicada sobre um diamante Vickers ou Knoop sobre o material, e a endentação resultante é tão pequena que precisa ser visualizada no microscópio. Diversos testes de dureza podem ser utilizados no estudo das propriedades dos materiais dentários, mas para materiais plásticos são mais utilizadas a dureza Knoop, Barcol e Rockwell. A dureza, além de oferecer uma informação relativa sobre a dureza do material, pode ser utilizada como um método mais simples e menos custoso de se acessar, indiretamente, o grau de conversão das resinas compostas.^{37, 80}

Desta forma, diversos estudos utilizam a dureza como um dos parâmetros de comparação entre os materiais restauradores. Neste estudo, não foram observadas diferenças significantes quanto à dureza Wallace a seco, para os diferentes protocolos de fotoativação testados. Isto foi possivelmente observado porque a densidade total de energia utilizada, neste estudo, foi padronizada. Este resultado corrobora os dados relatados por ASMUSSEN; PEUTZFELDT,^{7, 11} que, tampouco, observaram diferenças na dureza Wallace superficial, de espécimes submetidos a diferentes protocolos de fotoativação. Adicionalmente, a dureza mensurada na superfície do material parece ser menos sensível a pequenas variações nos modos de fotoativação.⁴⁶ A dureza de materiais fotoativados, no entanto, decresce em profundidade.^{60,}

103

Desta forma, a dureza em profundidade pode ser influenciada pelas diferentes fontes de luz utilizadas, devido à variação no espectro de luz. Por isso, maior dureza das resinas compostas pode ser obtida, ora após a

fotoativação com lâmpada halógena,⁶⁸ ora após fotoativação com LED.^{75, 76} Outros estudos, ainda, mostram não haver diferenças na dureza resultante da fotoativação entre LED e luz halógena.^{36, 78} NUNES⁶³ constatou menor dureza para a resina composta Z250, quando fotoativada a com lâmpada halógena a 300 mW/cm², em comparação ao LED. Se adotadas baixas densidades de potência (91 a 130 mW/cm²),⁶⁸ por outro lado, o LED resulta em menor dureza, quando comparado à lâmpada halógena. De qualquer modo, a dureza não deve ser utilizada como parâmetro isolado na comparação entre os materiais dentários.⁶³ Nesse sentido, além da significância estatística, pode-se adotar como parâmetro comparativo, entre os valores numéricos de dureza, a relação percentual não inferior a 80% da dureza obtida na superfície que entrou em contato com a fonte de luz. Este parâmetro foi sugerido^{21, 72} ao se considerar que a razão de 80% da dureza de base, em relação à dureza superficial, reflete a suficiência do processo de polimerização.

Deve-se ressaltar, também, que a maioria dos estudos não se preocupa em padronizar a densidade total de energia. É possível que a diferença atribuída às diferentes fontes de luz seja, na verdade, devido às diferentes densidades de potência ou densidades de energia. ABATE *et al.*¹ observaram que a dureza não foi afetada por diferentes tempos de exposição ou pela variação da densidade de potência, mas foi influenciada pelos diferentes níveis de energia e pelos materiais avaliados.

Por outro lado, acredita-se que o grau de amolecimento em etanol, constatado por meio de medidas de dureza Wallace, antes e após o armazenamento em etanol, seja mais sensível aos diferentes modos de fotoativação.^{7, 11, 86, 104} Por meio do amolecimento em etanol é possível estimar, indiretamente, a densidade de ligações cruzadas das cadeias poliméricas. Em teoria, cadeias poliméricas mais lineares sofrem um maior amolecimento em etanol, quando comparado a um polímero com maior densidade de ligações cruzadas, uma vez que o polimetil metacrilato sofre dissolução em etanol.⁷

A Tabela 1 demonstra que houve amolecimento da resina composta após o armazenamento em etanol. No entanto, a variação da razão de

polimerização, pela redução da densidade de potência máxima (QTH Max, LED Max) para a metade (QTH ½ Max, LED ½ Max), não afetou o grau de amolecimento em etanol. Desta forma, pode-se concluir que o polímero resultante dos diferentes modos de fotoativação testados apresenta característica semelhante, quando submetido ao teste de amolecimento em etanol. Sob esse aspecto, o resultado deste estudo não corrobora os achados de ASMUSSEN; PEUTZFELDT;¹¹ estes obtiveram maior grau de amolecimento com o aumento da densidade de potência, para uma mesma densidade de energia, haja vista que o aumento da razão de polimerização pode resultar em polímeros com maior densidade de ligações cruzadas.^{7, 46} Portanto, a redução da razão de polimerização por meio da modulação da fotoativação, pela técnica de pulso interrompido, resultaria em polímeros mais susceptíveis ao amolecimento em etanol.^{7, 86} LOVELL *et al.*⁵⁶ constataram que a variação da razão de polimerização não apresenta efeito na temperatura de transição vítrea da resina composta, uma propriedade diretamente relacionada à densidade de ligações cruzadas dos polímeros. SOH; YAP,⁸⁶ por outro lado, observaram efeitos distintos da modulação da fotoativação na densidade de ligações cruzadas dos polímeros dependendo do método empregado. Não existe, portanto, consenso quanto ao efeito da razão de polimerização na densidade de ligações cruzadas dos polímeros. Dentre as hipóteses levantadas para explicar as diferenças encontradas entre os estudos, estão as variações na composição das resinas compostas empregadas ou, ainda, a utilização de resinas experimentais sem carga.

6.1.3 Desgaste

O desgaste tem sido uma propriedade de interesse para as resinas compostas, desde o seu desenvolvimento. Por isso, diversos equipamentos que simulam o desgaste foram desenvolvidos para simular as variáveis bucais ambientais e biológicas, com a finalidade de classificar os materiais

restauradores, de acordo com sua resistência ao desgaste.⁵³ No entanto, o método utilizado para se testar o desgaste pode influenciar os resultados obtidos em laboratório, porque múltiplos aspectos influenciam o desgaste: o material e formato do antagonista, a força e a área de contato, o número e a frequência de ciclos, a duração do contato, a velocidade relativa entre as superfícies opostas, a temperatura e a qualidade do meio de teste, a homogeneidade dos materiais testados, a presença de ciclagem química, pH ou enzimas.⁵³ Testes de dois ou três corpos têm sido utilizados para simular o desgaste de materiais restauradores em laboratório. Neste estudo, dois métodos diferentes de três corpos foram utilizados para testar o desgaste da resina composta. Especula-se que o método de desgaste da ACTA possa simular a complexidade do desgaste, que é afetado, clinicamente, na superfície oclusal pela perda erosiva de material, pelo deslocamento de partículas de carga e pela fadiga superficial.⁶⁷

No entanto, devido à natureza complexa do processo de desgaste *in vivo*, nenhum método laboratorial tem sido capaz de simular todos os aspectos do desgaste clínico. Isto ocorre porque os métodos laboratoriais simulam, apenas, um dos mecanismos envolvidos no desgaste clínico.⁵⁰ Por isso, alguns estudos não encontram nenhuma correlação entre o desgaste *in vivo* e *in vitro*,^{58, 74} enquanto outros observaram uma forte correlação.^{15, 22, 41, 66} Uma das possíveis explicações quanto à variação entre os resultados de desgaste dos diversos trabalhos pode ser evidenciada pelo experimento de PALLAV *et al.*;⁶⁷ estes constataram que pequenas alterações na espessura do meio de atrito, nas áreas de contato, resultam em diferenças nos índices de desgaste e na classificação dos materiais testados. A duração do teste de desgaste também pode influenciar os resultados, por favorecer maior sorção de água pelo material e sua conseqüente hidrólise e degradação. Uma vez que os modelos *in vitro* não conseguem reproduzir as condições do ambiente oral e suas variações, não é possível a extrapolação dos resultados laboratoriais para a boca. Somente tendências e indicações comparativas de desgaste podem ser obtidas em laboratório.^{41, 53}

Nesse sentido, a interpretação dos resultados laboratoriais deve ser cautelosa. A indicação de diferenças estatísticas não implica, necessariamente, em desempenho adverso de determinado material ou técnica. Observa-se atualmente, por exemplo, que apesar de os aparelhos LED apresentarem, em algumas situações, desempenho estatisticamente inferior quando comparados às lâmpadas halógenas, podem alcançar os requisitos necessários estabelecidos pela norma ISO 4049.¹¹ Os dados laboratoriais, portanto, podem sinalizar o provável desempenho do material. No entanto, somente por meio da experimentação clínica estes resultados podem ser confirmados, e o entendimento sobre a indicação e aplicabilidade de determinado material ou técnica pode ser esclarecido.

As propriedades de um polímero são geralmente influenciadas por dois fatores inter-relacionados, porém independentes: o grau de conversão e a densidade de ligações cruzadas. Pesquisas observaram que a resistência ao desgaste aumenta à medida que aumenta o grau de conversão do material.^{24, 40} De maneira geral, a utilização de altas densidades de energia tem sido associada ao aumento do grau de conversão e, conseqüentemente, menor desgaste. No entanto, a correlação entre densidade de energia e grau de conversão não é linear. Existe um limite em que o aumento da densidade de energia não promove aumento no grau de conversão.¹⁶

Além do grau de conversão e de uma provável influência da densidade de ligações cruzadas dos polímeros, a possível correlação entre dureza e desgaste é controversa. Embora se espere que maior dureza do material implique em menor desgaste, isto não se constitui, necessariamente, em evidência ampla. SATOU *et al.*⁸³ observaram correlação inversa entre dureza e desgaste da resina composta, ou seja, quanto maior a dureza, menor o desgaste.⁸³ Por outro lado, NUNES⁶³ observou uma fraca correlação negativa entre os valores obtidos a partir do teste de dureza Knoop e de desgaste por escovação. Na verdade, deve-se considerar que o valor de dureza não constitui em parâmetro absoluto para quantificar o desempenho da resina composta quanto ao desgaste, uma vez que, por si só, não consegue caracterizar as

interações entre as partículas abrasivas e o desgaste dos materiais. Desta forma, pode-se concluir que outros fatores, além da dureza, são importantes no mecanismo de desgaste. Dentre eles, a ligação entre as partículas de carga e a matriz, que colaboram de maneira tímida na dureza do material, podem exercer uma influência decisiva na resistência abrasiva.^{24, 89}

Adicionalmente, deve-se considerar que os diferentes modos de ativação possam influenciar o desgaste das resinas compostas. ST-GEORGES *et al.*, 2002,⁸⁷ analisaram o efeito de diferentes fontes de luz no desgaste de três corpos de resinas compostas. Observaram que a fotoativação com um aparelho *laser* de argônio (15 segundos a 600 ou 725 mW/cm²) resultou em maior desgaste que a fotoativação com um aparelho convencional, pela técnica contínua ou gradual, ou arco de plasma. Além da menor densidade de energia (9 ou 11 J/cm²) adotada, pelos autores, para a fotoativação com o aparelho *laser*, é possível que a diferença no espectro emitido pelo *laser*, com máxima intensidade em 488 nm, tenha resultado em menor iniciação da canforquinona. Eventuais diferenças no espectro de luz emitido podem ser compensadas pelo aumento do tempo de exposição para uma das fontes de luz, resultando na emissão de energia radiante equivalente para uma faixa espectral desejada. Em um estudo conduzido por RAMP *et al.*, 2006,⁷⁷ a energia radiante equivalente para o espectro entre 450 e 490 nm foi obtida pelo aumento do tempo de irradiação do aparelho LED em 33% (de 30 para 40 segundos), a fim de compensar pela sua menor irradiância, quando comparado à lâmpada halógena. Nesta condição, os autores não encontraram diferenças quanto ao desgaste produzido em espécimes fotoativados por aparelhos QTH ou LED.⁷⁷

Deve-se considerar, ainda, que o mecanismo de desgaste envolvido nos testes ACTA e por escovação simulada apresenta características distintas, o que poderia explicar o maior desgaste resultante da fotoativação LED para o método de escovação simulada. Provavelmente, o mecanismo de abrasão entre os corpos predomina no teste de escovação, produzido pelo dentífrício e pelas cerdas da escova, em contato com a resina composta. O desgaste ACTA, por outro lado, simula o processo de desgaste produzido pelo bolo

alimentar nas áreas livres de contato. Pelo método ACTA, outros mecanismos de desgaste estão envolvidos além da abrasão, como desgaste por fadiga e desgaste por aderência. Desta forma, os dados obtidos a partir de métodos diferentes implicam em comportamentos distintos, uma vez que produzem efeitos superficiais, em razão da característica de atrição dos dois métodos. De acordo com o método de desgaste de três corpos da ACTA, resultados equivalentes foram observados para todos os protocolos de fotoativação testados neste estudo. O desgaste relativo das resinas compostas, no presente estudo, foi significativamente maior que o relatado para o esmalte pelo método ACTA. PALLAV *et al.*⁶⁶ registraram um desgaste relativo do esmalte em 0,5 μm contra 1,3 μm para a resina composta P30. Ainda assim, o desgaste da resina composta obtido por este método pôde ser considerado baixo, ficando aquém do valor mínimo estipulado pela Associação Americana de Odontologia (ADA). Segundo as diretrizes do programa de aceitação da ADA, as resinas compostas para dentes posteriores devem apresentar desgaste inferior a 50 μm , após desgaste laboratorial simulado por 3 anos, pelo método da ACTA ou similar.³

Já para o método de escovação simulada, o grupo fotoativado com LED a 300 mW/cm^2 apresentou maior desgaste, em comparação aos demais grupos. O resultado do teste de escovação corrobora os dados coletados por ASENJO-MARTINEZ⁶ e NUNES.⁶³ ASENJO-MARTINEZ, 2004,⁶ observou maior desgaste para espécimes fotoativados com aparelhos LED, quando comparado à lâmpada halógena emitindo a mesma densidade de potência (300 mW/cm^2) e energia (6 J/cm^2). Em contrapartida, NUNES, 2006,⁶³ observou que o desgaste em espécimes fotoativados com baixa densidade de potência (300 mW/cm^2) e energia (6 J/cm^2) foi significativamente maior após escovação, tanto para o aparelho de lâmpada halógena como para o aparelho de diodo emissor de luz. Ambos os estudos sinalizam que a combinação de 300 mW/cm^2 e 20 segundos de exposição resulta em uma densidade de energia insuficiente. Melhor desempenho foi observado quando se adotaram níveis de densidade de energia iguais ou superiores a 12 J/cm^2 , o mesmo nível adotado neste estudo. Desta forma, não se pode afirmar que a densidade de potência de 300 mW/cm^2

não seja adequada para a fotoativação, uma vez que eventuais desvantagens nas propriedades mecânicas, produzidas por baixas densidades de energia, podem ser compensadas pelo aumento do tempo de exposição.^{63, 77, 79, 103}

A densidade de energia total necessária para garantir uma polimerização adequada não está estabelecida, mas publicações internacionais sugerem entre 12 e 36 J/cm².^{19, 34, 103} É necessário, portanto, conhecer as propriedades resultantes dos diferentes protocolos de ativação, a fim de obter propriedades satisfatórias, convivendo com as limitações da resina composta. Um protocolo de fotoativação único não pode ser estabelecido frente à grande diversidade de resinas compostas, uma vez que parâmetros intrínsecos envolvidos na sua fabricação implicam na obtenção de materiais heterogêneos. Idealmente, cada resina composta deveria conter em sua embalagem as especificações necessárias para a fotoativação ótima, incluindo o agente fotossensível, emissão espectral e densidade de potência requerida, além do tempo de exposição à luz.

A partir dos resultados laboratoriais deste estudo, a primeira hipótese nula pode ser parcialmente aceita. Não foram observadas diferenças quanto à fotoativação da resina composta a 300 mW/cm², durante 40 segundos (QTH ½ Max, LED ½ Max), ou 600 mW/cm², durante 20 segundos (QTH Max, LED Max), para o grau de conversão, o grau de amolecimento em etanol e o desgaste obtido pelo método ACTA. Somente para o método de desgaste por escovação, o protocolo LED ½ Max produziu maior desgaste.

6.2 Comportamento clínico da resina composta

Para avaliar o comportamento clínico de restaurações de resina composta, dois métodos têm sido largamente adotados nos principais estudos. Um deles baseia-se na avaliação clínica direta,⁸¹ enquanto o outro é um método indireto, em que a avaliação é feita em modelos obtidos das

restaurações.⁵⁴ Ambos os métodos exigem a padronização de procedimentos: os materiais a serem comparados devem ser colocados nas mesmas condições, ou seja, pelo mesmo profissional, em um mesmo paciente e pelo mesmo período de observação.

O método direto de avaliação clínica sugerido por RYGE,⁸¹ passou a ser adotado pelo sistema de saúde pública dos Estados Unidos e, por isso, ficou também conhecido como sistema de avaliação USPHS. Por este sistema, o desempenho de cada restauração é avaliado independentemente, necessitando-se de dois examinadores para certificação da consistência da avaliação. O grau de concordância entre os avaliadores deve ser de, pelo menos, 85%, conferido por meio de calibrações prévias. Quando existe desacordo entre os mesmos, em relação aos resultados obtidos, é feita uma discussão para se chegar a um consenso. No presente estudo, a concordância entre os avaliadores ($\kappa = 0,96$) superou os requisitos mínimos exigidos.

O sistema de classificação por escores é sensível e com algumas limitações para a avaliação clínica de restaurações em longo prazo.⁴³ Entretanto, este tema é bastante discutido. Uma limitação do método direto de avaliação clínica refere-se à quantificação do desgaste, com o passar do tempo. A estimativa de perda de material em altura, ao se percorrer a interface dente-restauração com uma sonda ao exame visual, como estabelecido pelos critérios USPHS, pode não ser um método apropriado para se avaliar o desempenho precoce das resinas compostas em dentes posteriores.⁵⁸ Autores como LUTZ *et al.*⁵⁸ ponderam que esta técnica não é sensível o suficiente, uma vez que apenas diferenças de 100 μm podem ser detectadas clinicamente, sendo, portanto, necessários em média 2,5 anos, antes que a detecção visual de desgaste marginal seja percebida. Ressaltam ainda uma outra falha deste método: a inferência de que o desgaste na restauração ocorre de maneira uniforme. Isto implica que a abrasão e a deterioração química, processos dominantes em áreas livres de contato, sejam mais importantes que a fadiga e falha adesiva, características do desgaste em áreas de contato oclusal. No entanto, as forças envolvidas no desgaste não são uniformes em toda a

superfície da restauração, o que pode ser constatado pela delimitação de facetas de desgaste mais intenso, nas áreas de contato oclusal.^{58, 40}

O método indireto, em contrapartida, permite quantificar o desgaste, a partir da comparação das réplicas obtidas das restaurações com modelos calibrados e padronizados, de desgaste conhecido.⁵⁴ A obtenção de dados quantitativos é extremamente interessante do ponto de vista estatístico. Porém, o método de avaliação indireta foi desenhado, apenas, para monitorar a manutenção da forma anatômica da superfície oclusal,⁹² desconsiderando outras características interessantes. Por isso, o método direto de avaliação clínica das restaurações foi preferido no presente trabalho, por permitir o acompanhamento sistemático, compreendendo diferentes categorias que permitem consignar o comportamento clínico do material, em razão de diferentes variáveis que necessitam da observação direta.

Percebe-se, portanto, que os resultados obtidos a partir dos dois métodos, direto e indireto, são distintos.^{2, 92, 93} A avaliação comparativa para o estudo de materiais restauradores pode apresentar resultado diferente, dependendo do método de avaliação adotado, direto ou indireto, uma vez que a sensibilidade dos métodos é diferente.² Métodos bastante precisos, como a análise tridimensional a laser, também apresentam resultados distintos da avaliação visual,⁶⁹ porém representam alto custo. Apesar das limitações dos métodos de avaliação, direto ou indireto, pode-se concluir que os resultados obtidos a partir dos estudos clínicos são soberanos, frente aos resultados obtidos a partir de estudos laboratoriais.

Este estudo seguiu as diretrizes para estudos clínicos da ADA, que determina que, pelo menos, 30 restaurações devam ser inseridas no desenho experimental e não mais de 3 restaurações de cada tipo podem ser inseridas no mesmo indivíduo, de modo que um indivíduo não deve influenciar os resultados mais que outro. O Conselho de Assuntos Científicos da ADA determinou, também, que um mínimo de 25 pacientes devem ser incluídos na pesquisa, não podendo haver menos que 20 pacientes e não mais que 5% de

restaurações consideradas como clinicamente inaceitáveis na avaliação aos 2 anos.⁴

Ainda, de acordo com a ADA, diversas características devem ser consideradas, clinicamente, para se avaliar o desempenho de materiais restauradores: estabilidade de cor, integridade e descoloração marginal, textura superficial, manutenção da forma anatômica, retenção, sensibilidade pós-operatória, incidência de cárie, manutenção da saúde periodontal.⁴ Dentre elas, foram monitoradas, neste estudo, a integridade e descoloração marginal, manutenção da forma anatômica, retenção, sensibilidade pós-operatória e incidência de cárie. A estabilidade de cor não foi avaliada, por ter sido utilizada uma única tonalidade de material. O critério de textura superficial foi descartado, por se tratar de uma característica bastante subjetiva. A manutenção da saúde periodontal tampouco foi avaliada, porque em cavidades de classe I não há contato do material restaurador com o periodonto.

Dentre os aspectos considerados para um bom desempenho clínico, a manutenção da forma anatômica tem sido uma das propriedades de interesse para resinas compostas. Espera-se que os materiais restauradores apresentem uma resistência ao desgaste semelhante à do esmalte, para manter a dimensão vertical estável e harmônica.⁵² A perda da forma anatômica ocorre devido à deterioração do material, seja por desgaste ou degradação química. O desgaste dentário é um fenômeno fisiológico observado em todas as civilizações e em todas as idades. O desgaste no esmalte humano, em dentes posteriores, ocorre de modo distinto em molares e pré-molares. LAMBRECHTS *et al.*, 1989,⁵² mensuraram o desgaste vertical e observaram que o desgaste médio do esmalte foi de 38 µm ao ano, em molares, e 22 µm, em pré-molares. Estes autores ressaltaram, ainda, que o desgaste tende a ser ligeiramente maior no primeiro ano após a inserção das restaurações, e se estabiliza após 2 anos, quando o ambiente oral alcança o equilíbrio dinâmico. WILDER *et al.*, 1999,¹⁰² também observaram que o desgaste das restaurações de resina composta não é linear e ocorre mais intensamente nos primeiros 5 anos. Estes autores apóiam a hipótese de proteção sugerida por BAYNE *et al.*,

1992,¹² pela qual o desgaste superficial das restaurações diminui à medida que o esmalte adjacente protege, progressivamente, a superfície da restauração.

Neste estudo, não se pôde perceber visualmente um desgaste significativo nas restaurações de resina composta. Isto possivelmente ocorreu porque as restaurações de classe I confeccionadas foram conservadoras, praticamente sem contato oclusal direto dos dentes antagonistas sobre a restauração. Por outro lado, quando ocorre, verifica-se que o desgaste da resina composta ocorre, mais intensamente, em pontos isolados, nas áreas de contato oclusal.^{58, 40} Um outro aspecto a ser considerado é a redução progressiva do desgaste sofrido pelas restaurações de resina composta. LUTZ *et al.*⁵⁸ constataram, na década de 80, perda de 20 μm material em áreas livres de contato, durante os primeiros 6 meses. FERRACANE *et al.*, 1997,⁴⁰ relataram um desgaste médio de 16 μm após 2 anos de serviço clínico em restaurações com resina composta em dentes posteriores, ou seja, um quarto do desgaste relatado por LUTZ *et al.*⁵⁸ Em 2005, POON *et al.*⁷³ registraram o desgaste anual médio de duas resinas compostas, uma híbrida e uma condensável, entre 8 e 10 μm , valores estes similares aos resultados reportados por FERRACANE *et al.*⁴⁰ Pode-se perceber, portanto, que a evolução da resina composta como material restaurador tem resultado em valores de desgaste considerados clinicamente aceitáveis, dentro do padrão estabelecido pela ADA. De acordo com as especificações da ADA, o desgaste médio máximo deve ser mensurado a partir de 6 meses da inserção das restaurações, e não deve ser superior a 50 μm , aos 18 meses de avaliação.³

Além do desgaste, as resinas compostas estão expostas, *in vivo*, de modo intermitente ou contínuo a agentes químicos, presentes na saliva, alimentos e bebidas, que podem acelerar o processo de deterioração do material.¹⁰⁵ O desgaste de materiais restauradores *in vivo* é bastante complexo, uma vez que diversos processos estão envolvidos.⁵³ Inicialmente, as resinas compostas evidenciavam um desgaste acentuado por apresentarem partículas de carga grandes e sem interação com a matriz orgânica e, portanto, eram contra-indicadas em dentes posteriores.^{40, 58} À medida que o material foi

aperfeiçoado, pela incorporação de partículas de carga menores, mais resistentes e em maior concentração, a resina composta passou a ser utilizada, com previsão de sucesso razoável, também em dentes posteriores. A própria ADA sugere a utilização de resinas compostas e estabelece critérios de aceitação destes materiais para o uso em dentes posteriores.³ Portanto, o comportamento clínico de materiais resinosos tem sido foco de interesse de diversas publicações.^{2, 32, 43, 73, 84}

Atualmente, pode-se dizer que as restaurações de resina composta apresentam bom desempenho clínico, em longo prazo.^{2, 31, 32, 43, 73} Até o momento de avaliação clínica realizada neste estudo, todas as restaurações avaliadas mostraram-se clinicamente satisfatórias. Da mesma forma, DE SOUZA *et al.*, 2005,³¹ consideraram as restaurações de resina composta clinicamente aceitáveis ao final do mesmo período de avaliação. Segundo estes autores, o critério de estabilidade de cor foi o que apresentou o menor índice de escores alfa. Neste estudo, este critério não foi avaliado porque se utilizou uma única tonalidade de resina composta, do mesmo lote de fabricação, a fim de garantir a mesma padronização, com relação ao material restaurador que foi utilizado nos testes laboratoriais. Adicionalmente, diferentes materiais restauradores podem apresentar um desempenho distinto, devido às diferenças presentes na sua formulação. ABDALLA; ALHADAINY, 1996,² por exemplo, classificaram as restaurações da resina Z100 como “alfa”, em todos os critérios avaliados, ao final de um ano de avaliação, enquanto as restaurações de Clearfil PP, Herculite XR e Heliomolar RO apresentaram ligeira alteração quanto à estabilidade de cor, manutenção da forma anatômica e adaptação marginal. Estes autores, contudo, não especificaram os parâmetros adotados para a fotoativação das resinas compostas investigadas.

Resultados similares aos deste trabalho foram observados, também, por DEMIRCI; SANCAKLI, 2006,³² no primeiro ano de avaliação parcial de restaurações de compômero em cavidades de classe I, fotoativadas por 40 segundos a 450 mW/cm². Embora tenham avaliado outro material e um protocolo de ativação diferente, estes autores adotaram o mesmo modelo

experimental adotado neste estudo: cavidades com até 1/3 de abertura intercuspídea, em áreas de pouco estresse oclusal. Somente a partir do segundo ano de avaliação, foi observada alteração nos critérios de retenção, alteração de cor, descoloração marginal e incidência de cárie. Entre o terceiro e quinto anos, os autores notaram agravamento nos escores dos critérios analisados, mas as restaurações puderam ser consideradas, ainda, como clinicamente aceitáveis, com índice de sobrevivência de 91,5%. A maior razão de falha de restaurações, segundo estes autores, foi o aparecimento de novas lesões cariosas nos dentes envolvidos na pesquisa.³² De fato, uma das maiores dificuldades envolvidas no presente estudo foi a conscientização e a modificação dos hábitos dos pacientes. Embora se busque inserir, em estudos clínicos, pacientes com baixo risco à cárie e excelente higienização, isto pode criar um viés na interpretação dos resultados. O comportamento do material, em um ambiente próximo do ideal, pode não ser o mesmo daquele encontrado na maioria da população. Desta forma, os voluntários deste estudo apresentavam um padrão de higiene variável. Alguns pacientes tornaram-se extremamente zelosos após as orientações de higiene, enquanto outros tiveram dificuldade para modificar seus hábitos, sendo que, no período de avaliação, não comprometeu o comportamento das restaurações.

Devido aos fatores discutidos anteriormente, a deterioração das restaurações de resina composta ocorre de maneira variável. TURKUN; AKTENER, 2001,⁹³ observaram manutenção da estabilidade de cor e descoloração marginal e ausência de lesão cariosa, ao longo de dois anos de acompanhamento de restaurações de classe I e II, fotoativadas por luz halógena durante 40 segundos. ABDALLA; ALHADAINY, 1996,² ao final de dois anos, não observaram diferenças entre os materiais investigados, quanto à descoloração marginal, nas 120 restaurações de classe I de resina composta em molares permanentes. No entanto, constataram alteração de cor, de manutenção da forma anatômica e de adaptação marginal, evidenciando, assim, a degradação das restaurações com o passar do tempo. Após 3 anos e 6 meses, POON *et al.*, 2005,⁷³ observaram que os principais motivos de falha de restaurações de resina composta foram recidiva de cárie e fraturas, nos

casos de restaurações mais extensas, resultando em um índice de manutenção acumulado de 81,3% a 92%. Os demais critérios foram considerados satisfatórios pelos autores, ao final do período de avaliação, sem diferença significativa entre os materiais avaliados e fotoativados durante 40 segundos. Os autores constataram também que a descoloração marginal, a manutenção da forma anatômica e a textura superficial sofreram menor alteração nos escores do que a estabilidade de cor, a integridade marginal e a saúde gengival.

Em períodos mais longos de observação, GAENGLER *et al.*, 2001,⁴³ detectaram que a descoloração marginal e a forma anatômica mostraram-se preservadas, na maioria das restaurações reavaliadas, embora rugosidade superficial tenha se acentuado após dez anos. A integridade marginal, conservada durante o primeiro ano, demonstrou degradação contínua nas avaliações subseqüentes. Mesmo assim, 74,2% das restaurações apresentavam-se clinicamente aceitáveis, com baixo índice de recidiva de lesão cariosa e manutenção satisfatória da forma anatômica. SHIMIZU *et al.*, 1995,⁸⁴ também concluíram que o baixo desgaste, a boa adaptação marginal e a estabilidade de cor das restaurações de resina composta ao longo de dez anos são fatores que permitem indicar este material restaurador em dentes posteriores.

Vale ressaltar que a maioria dos estudos não se preocupa em especificar detalhes sobre o protocolo de fotoativação utilizado, como a densidade de potência emitida e o aparelho utilizado. Poucos trabalhos avaliaram o efeito dos protocolos de fotoativação no comportamento clínico das restaurações de resina composta.^{14, 64, 96} BRACKETT *et al.*, 2002,¹⁴ não encontraram diferenças entre o protocolo de fotoativação contínuo (30 segundos a 800 mW/cm²) e a técnica gradual (15 segundos de 0 a 800 mW/cm², seguido da complementação por 25 segundos a 800 mW/cm²), em lesões cervicais não cariosas, restauradas com resina composta e fotoativadas com energia total equivalente. OBERLANDER *et al.*, 1999,⁶⁴ também compararam, após um ano, o efeito da fotoativação de modo contínuo a 800

mW/cm² por 40 segundos ou de modo gradual, a 150 mW/cm² nos primeiros 10 segundos de fotoativação, em cavidades de classe V restauradas com resina composta modificada por poliácidos. Como visto, a técnica gradual visa prolongar a fase pré-gel da reação de polimerização, permitindo maior escoamento do material e, conseqüentemente, minimizando os estresses de contração. Embora a intenção da modulação da fotoativação seja diminuir a formação de fendas marginais, isso não foi observado clinicamente no estudo de OBERLANDER *et al.*⁶⁴ VAN DIJKEN *et al.*, 2003,⁹⁶ avaliaram restaurações mistas ou de resina composta fotoativadas pelo modo gradual, ao longo de 6 anos. Os incrementos oblíquos de restaurações de classe I foram fotoativados através da estrutura dentária durante 20 segundos, a fim de reduzir a densidade de potência aplicada inicialmente. Em seguida, a fotoativação foi complementada diretamente sobre cada incremento de resina composta, durante 30 segundos, utilizando um aparelho emissor de 370 mW/cm². Os autores adotaram, ainda, a fotoativação complementar após a finalização da restauração, durante 60 segundos. Este protocolo de fotoativação foi empregado em todas as restaurações do estudo de VAN DIJKEN *et al.*, 2003,⁹⁶ e resultou em restaurações de alta durabilidade.

No presente estudo, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes nos critérios de desempenho clínico das restaurações de resina composta, quanto aos diferentes protocolos de fotoativação estudados. À semelhança dos resultados relatados por BRACKETT *et al.*¹⁴ e OBERLANDER *et al.*,⁶⁴ que adotaram a fotoativação pela técnica gradual, a utilização de menor densidade de potência empregada neste estudo não favoreceu a integridade marginal. Apesar da ausência de significância estatística, indícios de deterioração das restaurações puderam ser observados, no presente estudo, ao final de um ano de avaliação. A fotoativação com LED a 300 mW/cm² resultou em maior número de escores “beta” (12,1%) para o critério de integridade marginal. De acordo com TURKUN *et al.*, 2001,⁹³ a degradação marginal foi constatada em, aproximadamente, 15% das restaurações, após 2 anos de acompanhamento clínico.

Ao final de um ano de avaliação clínica, uma pequena percentagem das restaurações foi considerada “beta”, com relação à manutenção da forma anatômica, para todos os protocolos de fotoativação investigados; porém, de modo mais evidente para o grupo de ativação com LED a 300 mW/cm². É possível que a tendência de maior desgaste, observada laboratorialmente pelo método de desgaste por escovação simulada, para o protocolo LED a 300 mW/cm², não somente na presente pesquisa, mas também por ASENJO-MARTINEZ⁶ e NUNES,⁶³ venha a ser evidenciada em subseqüentes avaliações clínicas, referendando, ou não, a sinalização decorrente dos estudos laboratoriais.

De qualquer maneira, os estudos clínicos correspondem ao teste final dos materiais restauradores e, por isso, sua execução é fundamental. Embora os estudos clínicos apresentem consumo de tempo e custo elevado em relação aos testes laboratoriais,⁸⁹ deve-se considerar que apenas por meio de estudos clínicos pode-se definir o desempenho de determinado material ou técnica como clinicamente aceitável ou inaceitável. No presente estudo, não se observou diferença quanto ao comportamento clínico das restaurações de resina composta fotoativadas com diferentes protocolos, o que permite acatar a segunda hipótese nula proposta. Laboratorialmente, no entanto, constatou-se maior severidade no teste de desgaste por escovação para o protocolo LED a 300 mW/cm². Como um teste laboratorial tem a finalidade de estimar o possível comportamento clínico do material, em longo prazo, é comum que resultados mais evidentes sejam detectados em testes laboratoriais, quando comparados aos resultados clínicos. Assim, os dados laboratoriais devem ser analisados com cautela para não inviabilizar, clinicamente, técnicas e materiais restauradores. Estima-se que evidências devam ser agregadas, ao longo de, no mínimo, cinco anos de acompanhamento clínico, antes de recomendar ou desaconselhar o uso de materiais restauradores ou procedimentos operatórios específicos. Embora não exista uma energia ótima de fotoativação, trabalhos de pesquisa recentes^{10, 70} sugerem a utilização de densidades de potência intermediárias e períodos de exposição à luz mais prolongados. Vale ressaltar, novamente, a importância de os fabricantes incluírem, a partir de investigações

próprias, especificações da condição ótima de fotoativação para cada resina composta e que estas especificações possam ser validadas por pesquisas independentes.

Conclusões

7 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos, pode-se concluir que:

- os protocolos de fotoativação adotados no presente estudo (40 segundos a 300 mW/cm^2 ou 20 segundos a 600 mW/cm^2), empregando-se lâmpada halógena e diodo emissor de luz com equiparação da densidade total de energia (12 J/cm^2), não comprometeram as características da resina composta Z250 em termos de grau de conversão, grau de amolecimento em etanol e desgaste pelo método ACTA;
- os métodos de avaliação de desgaste, ACTA e escovação simulada, não demonstraram correspondência absoluta, tendo em vista a discrepância observada quando do emprego da fotoativação com metade da densidade de potência para a fonte LED;
- as restaurações de resina composta fotoativadas com lâmpada halógena ou diodo emissor de luz, quando da utilização de protocolos de fotoativação com diferentes densidades de potência (300 e 600 mW/cm^2), para uma mesma densidade de energia (12 J/cm^2), mostraram-se clinicamente aceitáveis, após um ano de avaliação.

Anexo

ANEXO 1 – Documento de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.

Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia de Bauru
Al. Dr. Octávio Pinheiro Brisolla, 9-75 – Bauru-SP – CEP 17012-901 – C.P. 73
PABX (0XX14)3235-8000 – FAX (0XX14)3223-4679

Comitê de Ética em Pesquisa (3235-8356)

Processo nº 171/2004

Bauru, 28 de fevereiro de 2005

Senhor Professor,

Informamos que após o envio da documentação solicitada referente ao projeto de pesquisa encaminhado a este Comitê de Ética em Pesquisa **“Avaliação clínica de restaurações de resina composta em função de diferentes fontes de luz e densidades de potência”**, de autoria dos CDs. Ana Raquel Benetti e Sérgio Kiyoshi Ishikiriama, sob sua orientação foi novamente avaliado pelo Relator e considerado **APROVADO** em reunião deste Comitê, realizada no dia 23 de fevereiro de 2005.

Lembramos que após o envio do trabalho concluído, este Comitê enviará o parecer final, que será utilizado para publicação do trabalho.

Atenciosamente,

Prof. Dr. José Henrique Rubo
Coordenador

Ilmº Sr. **Prof. Dr. Eduardo Batista Franco**
DD. Docente do Departamento de Odontopediatria, Ortodontia e Saúde Coletiva

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

1. Abate PF, Zahra VN, Macchi RL. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. *J Prosthet Dent*. 2001 Dec;86(6):632-5.
2. Abdalla AI, Alhadainy HA. 2-year clinical evaluation of Class I posterior composites. *Am J Dent*. 1996 Aug;9(4):150-2.
3. American Dental Association CoSA. Acceptance program guidelines. Resin based composites for posterior restorations. [cited 2007 May 08] <http://www.wada.org/ada/seal/standards/index.asp>. 2001.
4. American Dental Association CoSA. Acceptance Program Guidelines. Restorative materials. [cited 2005 Nov 12] <http://www.wada.org/ada/seal/standards/index.asp>. 1996.
5. Andersson-Wenckert IE, van Dijken JW, Horstedt P. Modified Class II open sandwich restorations: evaluation of interfacial adaptation and influence of different restorative techniques. *Eur J Oral Sci*. 2002 Jun;110(3):270-5.
6. Asenjo-Martinez MAJ. Avaliação do desgaste e da rugosidade superficial de uma resina, após escovação simulada, em função de diferentes fontes de luz. Dissertação (Mestrado). 2004. Faculdade de Odontologia de Bauru - Universidade de São Paulo:154p.
7. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res*. 2001 Jun;80(6):1570-3.
8. Asmussen E, Peutzfeldt A. Light-emitting diode curing: influence on selected properties of resin composites. *Quintessence Int*. 2003 Jan;34(1):71-5.

* Referências formatadas de acordo com o estilo *Vancouver* (http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html)

9. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci.* 2003 Jun;111(3):277-9.
10. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymerization contraction of resin composite vs. energy and power density of light-cure. *Eur J Oral Sci.* 2005 Oct;113(5):417-21.
11. Asmussen E, Peutzfeldt A. Two-step curing: influence on conversion and softening of a dental polymer. *Dent Mater.* 2003 Sep;19(6):466-70.
12. Bayne SC, Taylor DF, Heymann HO. Protection hypothesis for composite wear. *Dent Mater.* 1992;8:305-9.
13. Bowen RL. Use of epoxy resins in restorative materials. *J Dent Res.* 1956 Jun;35(3):360-9.
14. Brackett WW, Covey DA, St Germain HA, Jr. One-year clinical performance of a self-etching adhesive in class V resin composites cured by two methods. *Oper Dent.* 2002 May-Jun;27(3):218-22.
15. Braem M, Lambrechts P, Van Doren V, Vanherle G. In vivo evaluation of four posterior composites: quantitative wear measurements and clinical behavior. *Dent Mater.* 1986 Jun;2(3):106-13.
16. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(3):176-84.
17. Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res.* 2002 Feb;81(2):114-8.
18. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955 Dec;34(6):849-53.

19. Calheiros FC, Braga RR, Kawano Y, Ballester RY. Relationship between contraction stress and degree of conversion in restorative composites. *Dent Mater*. 2004 Dec;20(10):939-46.
20. Calheiros FC, Kawano Y, Stansbury JW, Braga RR. Influence of radiant exposure on contraction stress, degree of conversion and mechanical properties of resin composites. *Dent Mater*. 2006 Sep;22(9):799-803.
21. Cohen ME, Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Ragain JC. Statistical estimation of resin composite polymerization sufficiency using microhardness. *Dent Mater*. 2004;20:158-66.
22. Condon JR, Ferracane JL. Evaluation of composite wear with a new multi-mode oral wear simulator. *Dent Mater*. 1996 Jul;12(4):218-26.
23. Condon JR, Ferracane JL. Factors effecting dental composite wear in vitro. *J Biomed Mater Res*. 1997 Winter;38(4):303-13.
24. Condon JR, Ferracane JL. In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. *J Dent Res*. 1997 Jul;76(7):1405-11.
25. Cook WD. Photopolymerization kinetics of dimethacrylates using the camphorquinone/amine initiator system. *Polymer*. 1992;33:600-9.
26. D'alpino PHP. Influência da fonte de luz fotoativadora na resistência de união e da micromorfologia da interface adesiva de restaurações de resina composta - um estudo in vitro com microscopia de fluorescência. . Tese (Doutorado). 2005;Faculdade de Odontologia de Bauru:205p.
27. Davidson CL, de Gee AJ. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhes Dent*. 2000 Autumn;2(3):167-73.

28. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent*. 1997 Nov;25(6):435-40.
29. Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ, de Gee AJ, Erdilek N. The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater*. 1997 Nov;13(6):344-52.
30. De Gee AJ, Pallav P, Davidson CL. Effect of abrasion medium on wear of stress-bearing composites and amalgam in vitro. *J Dent Res*. 1986 May;65(5):654-8.
31. de Souza FB, Guimaraes RP, Silva CH. A clinical evaluation of packable and microhybrid resin composite restorations: one-year report. *Quintessence Int*. 2005 Jan;36(1):41-8.
32. Demirci M, Sancakli HS. Five-year clinical evaluation of Dyract in small Class I cavities. *Am J Dent*. 2006 Feb;19(1):41-6.
33. Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater*. 2006 Apr;22(4):359-65.
34. Emami N, Soderholm KJ. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci*. 2003 Dec;111(6):536-42.
35. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. *J Am Dent Assoc*. 2002 Apr;133(4):429-34; quiz 91-3.

36. Felix CA, Price RB, Andreou P. Effect of reduced exposure times on the microhardness of 10 resin composites cured by high-power LED and QTH curing lights. *J Can Dent Assoc.* 2006 Mar;72(2):147.
37. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater.* 1985 Feb;1(1):11-4.
38. Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil.* 1994 Jul;21(4):441-52.
39. Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res.* 1986 Jan;20(1):121-31.
40. Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res.* 1997 Aug;76(8):1508-16.
41. Finger W, Thiemann J. Correlation between in vitro and in vivo wear of posterior restorative materials. *Dent Mater.* 1987 Oct;3(5):280-6.
42. Franco EB, Lopes LG. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. *Biodonto.* 2003 2003;1(2):10-61.
43. Gaengler P, Hoyer I, Montag R. Clinical evaluation of posterior composite restorations: the 10-year report. *J Adhes Dent.* 2001 Summer;3(2):185-94.
44. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. An energy conversion relationship predictive of conversion profiles and depth of cure for resin-based composite. *Oper Dent.* 2003 May-Jun;28(3):307-14.

45. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater.* 2002 Sep;18(6):463-9.
46. Hofmann N, Markert T, Hugo B, Klaiber B. Effect of high intensity vs. soft-start halogen irradiation on light-cured resin-based composites. Part II: Hardness and solubility. *Am J Dent.* 2004 Feb;17(1):38-42.
47. Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater.* 2001 Mar;17(2):178-83.
48. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater.* 2000 Jan;16(1):41-7.
49. Kanca J, 3rd, Suh BI. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent.* 1999 Jun;12(3):107-12.
50. Knobloch LA, Kerby RE, Seghi R, van Putten M. Two-body wear resistance and degree of conversion of laboratory-processed composite materials. *Int J Prosthodont.* 1999 Sep-Oct;12(5):432-8.
51. Koubi S, Raskin A, Bukiet F, Pignoly C, Toca E, Tassery H. One-year clinical evaluation of two resin composites, two polymerization methods, and a resin-modified glass ionomer in non-carious cervical lesions. *J Contemp Dent Pract.* 2006 Nov 1;7(5):42-53.
52. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res.* 1989 Dec;68(12):1752-4.

53. Lambrechts P, Debels E, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. *Dent Mater.* 2006 Aug;22(8):693-701.
54. Leinfelder KF, Taylor DF, Barkmeier WW, Goldberg AJ. Quantitative wear measurement of posterior composite resins. *Dent Mater.* 1986 Oct;2(5):198-201.
55. Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JW. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. *Clin Oral Investig.* 2005 Jun;9(2):71-6.
56. Lovell LG, Lu H, Elliott JE, Stansbury JW, Bowman CN. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental resins. *Dent Mater.* 2001 Nov;17(6):504-11.
57. Lovell LG, Newman SM, Bowman CN. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res.* 1999 Aug;78(8):1469-76.
58. Lutz F, Phillips RW, Roulet JF, Setcos JC. In vivo and in vitro wear of potential posterior composites. *J Dent Res.* 1984 Jun;63(6):914-20.
59. Martinelli J, Pires-de-Souza Fde C, Casemiro LA, Tirapelli C, Panzer H. Abrasion resistance of composites polymerized by light-emitting diodes (LED) and halogen light-curing units. *Braz Dent J.* 2006;17(1):29-33.
60. Mills RW, Uhl A, Blackwell GB, Jandt KD. High power light emitting diode (LED) arrays versus halogen light polymerization of oral biomaterials: Barcol hardness, compressive strength and radiometric properties. *Biomaterials.* 2002 Jul;23(14):2955-63.

61. Neumann MG, Miranda WG, Jr., Schmitt CC, Rueggeberg FA, Correa IC. Molar extinction coefficients and the photon absorption efficiency of dental photoinitiators and light curing units. *J Dent*. 2005 Jul;33(6):525-32.
62. Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J*. 1997 Jun;16(1):60-73.
63. Nunes MCP. Avaliação da microdureza e desgaste por escovação simulada de uma resina composta, em função de diferentes fontes de luz e energias de ativação. Tese (Doutorado). 2006;Faculdade de Odontologia de Bauru:177p.
64. Oberlander H, Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Kopp A. Clinical performance of polyacid-modified resin restorations using "softstart-polymerization". *Clin Oral Investig*. 1999 Jun;3(2):55-61.
65. Obici AC, Sinhoreti MAC, Frollini E, Consani S. Degree of conversion of Z250 composite determined by fourier transform infrared spectroscopy: comparison of techniques, storage periods and photo-activation methods. *Mat Res*. 2004;7(4):605-10.
66. Pallav P, Davidson CL, de Gee AJ. Wear rates of composites, an amalgam, and enamel under stress-bearing conditions. *J Prosthet Dent*. 1988 Apr;59(4):426-9.
67. Pallav P, de Gee AJ, Werner A, Davidson CL. Influence of shearing action of food on contact stress and subsequent wear of stress-bearing composites. *J Dent Res*. 1993 Jan;72(1):56-61.
68. Peris AR, Mitsui FH, Amaral CM, Ambrosano GM, Pimenta LA. The effect of composite type on microhardness when using quartz-tungsten-halogen (QTH) or LED lights. *Oper Dent*. 2005 Sep-Oct;30(5):649-54.

69. Perry R, Kugel G, Kunzelmann KH, Flessa HP, Estafan D. Composite restoration wear analysis: conventional methods vs. three-dimensional laser digitizer. *J Am Dent Assoc.* 2000 Oct;131(10):1472-7.
70. Peutzfeldt A, Asmussen E. Resin composite properties and energy density of light cure. *J Dent Res.* 2005 Jul;84(7):659-62.
71. Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, Leloup G. The micro-Raman spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. *J Biomed Mater Res.* 1999;48(5):675-81.
72. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater.* 1992;8(5):299-304.
73. Poon EC, Smales RJ, Yip KH. Clinical evaluation of packable and conventional hybrid posterior resin-based composites: results at 3.5 years. *J Am Dent Assoc.* 2005 Nov;136(11):1533-40.
74. Powers JM, Ryan MD, Hosking DJ, Goldberg AJ. Comparison of in vitro and in vivo wear of composites. *J Dent Res.* 1983 Oct;62(10):1089-91.
75. Price RB, Felix CA, Andreou P. Knoop hardness of ten resin composites irradiated with high-power LED and quartz-tungsten-halogen lights. *Biomaterials.* 2005 May;26(15):2631-41.
76. Price RB, Felix CA, Andreou P. Third-generation vs a second-generation LED curing light: effect on Knoop microhardness. *Compend Contin Educ Dent.* 2006 Sep;27(9):490-6; quiz 7, 518.
77. Ramp LC, Broome JC, Ramp MH. Hardness and wear resistance of two resin composites cured with equivalent radiant exposure from a low irradiance LED and QTH light-curing units. *Am J Dent.* 2006 Feb;19(1):31-6.

78. Ritter AV, Cavalcante LM, Swift EJ, Jr., Thompson JY, Pimenta LA. Effect of light-curing method on marginal adaptation, microleakage, and microhardness of composite restorations. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2006 Aug;78(2):302-11.
79. Rueggeberg F. Contemporary issues in photocuring. *Compend Contin Educ Dent Suppl*. 1999 Nov(25):S4-15; quiz S73.
80. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res*. 1988 Jun;67(6):932-7.
81. Ryge G. Clinical criteria. *Int Dent J*. 1980 Dec;30(4):347-58.
82. Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent*. 1998 Nov;26(8):695-700.
83. Satou N, Khan AM, Satou K, Satou J, Shintani H, Wakasa K, *et al*. In-vitro and in-vivo wear profile of composite resins. *J Oral Rehabil*. 1992 Jan;19(1):31-7.
84. Shimizu T, Kitano T, Inoue M, Narikawa K, Fujii B. Ten-year longitudinal clinical evaluation of a visible light cured posterior composite resin. *Dent Mater J*. 1995 Dec;14(2):120-34.
85. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*. 2000 Jul;16(4):292-6.
86. Soh MS, Yap AU. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *J Dent*. 2004 May;32(4):321-6.

87. St-Georges AJ, Swift EJ, Jr., Thompson JY, Heymann HO. Curing light intensity effects on wear resistance of two resin composites. *Oper Dent*. 2002 Jul-Aug;27(4):410-7.
88. Stansbury JW, Dickens SH. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater*. 2001 Jan;17(1):71-9.
89. Sunnegardh-Gronberg K, Peutzfeldt A, van Dijken JW. Hardness and in vitro wear of a novel ceramic restorative cement. *Eur J Oral Sci*. 2002 Apr;110(2):175-8.
90. Tagtekin DA, Yanikoglu FC, Bozkurt FO, Kologlu B, Sur H. Selected characteristics of anOrmocer and a conventional hybrid resin composite. *Dent Mater*. 2004 Jun;20(5):487-97.
91. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Analysis of composite type and different sources of polymerization light on in vitro toothbrush/dentifrice abrasion resistance. *J Dent*. 2000 Jul;28(5):355-9.
92. Taylor DF, Bayne SC, Sturdevant JR, Wilder AD. Comparison of direct and indirect methods for analyzing wear of posterior composite restorations. *Dent Mater*. 1989 May;5(3):157-60.
93. Turkun LS, Aktener BO. Twenty-four-month clinical evaluation of different posterior composite resin materials. *J Am Dent Assoc*. 2001 Feb;132(2):196-203; quiz 24-5.
94. Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater*. 2004 Jan;20(1):80-7.
95. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res*. 1991 Oct;99(5):440-4.

96. van Dijken JW. A 6-year clinical evaluation of Class I poly-acid modified resin composite/resin composite laminate restorations cured with a two-step curing technique. *Dent Mater.* 2003 Jul;19(5):423-8.
97. Vandewalle KS, Ferracane JL, Hilton TJ, Erickson RL, Sakaguchi RL. Effect of energy density on properties and marginal integrity of posterior resin composite restorations. *Dent Mater.* 2004 Jan;20(1):96-106.
98. Venhoven BA, de Gee AJ, Davidson CL. Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization. *Biomaterials.* 1996 Dec;17(24):2313-8.
99. Wang L, Garcia FC, Amarante de Araujo P, Franco EB, Mondelli RF. Wear resistance of packable resin composites after simulated toothbrushing test. *J Esthet Restor Dent.* 2004;16(5):303-14; discussion 14-5.
100. Watts DC. Reaction kinetics and mechanics in photo-polymerised networks. *Dent Mater.* 2005 Jan;21(1):27-35.
101. Wilder AD, Bayne SC, May KN, Leinfelder KF, Taylor DF. Five-year clinical study of u.v.-polymerized posterior composites. *J Dent.* 1991 Aug;19(4):214-20.
102. Wilder AD, Jr., May KN, Jr., Bayne SC, Taylor DF, Leinfelder KF. Seventeen-year clinical study of ultraviolet-cured posterior composite Class I and II restorations. *J Esthet Dent.* 1999;11(3):135-42.
103. Yap AU, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent.* 2001 Sep-Oct;26(5):460-6.
104. Yap AU, Soh MS, Han TT, Siow KS. Influence of curing lights and modes on cross-link density of dental composites. *Oper Dent.* 2004 Jul-Aug;29(4):410-5.

105. Yap AU, Tan SH, Wee SS, Lee CW, Lim EL, Zeng KY. Chemical degradation of composite restoratives. J Oral Rehabil. 2001 Nov;28(11):1015-21.
106. Yoon TH, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. J Oral Rehabil. 2002 Dec;29(12):1165-73.

Abstract

Clinical and laboratorial evaluation of resin composite light-cured with different curing units and power densities

The aim of this study was to evaluate the clinical and laboratorial performance of a resin composite light-cured with different light-curing units and power densities, at a standard energy density level. Degree of conversion of the resin composite was determined by Fourier transformed infrared spectroscopy. The degree of softening of the resin composite in ethanol was obtained by Wallace hardness measurements before and after storage in a 75% ethanol solution. Wear of the resin composite was acquired by two methods: ACTA wear and toothbrush abrasion. Additionally, the clinical performance of resin composite restorations submitted to the same light-curing protocols was followed up. Class I resin composite restorations were light-cured using either halogen lamp or light emitting diode at 300 mW/cm² during 40 seconds or 600 mW/cm² during 20 seconds. Restorations were evaluated immediately and after 6 and 12 months by two calibrated dentists, according to the modified Ryge criteria. The laboratorial data were submitted to two-way analysis of variance and Newman-Keuls multiple comparison test, or t-test. Clinical data were analyzed by Kappa, Fisher and McNemar tests ($\alpha = 0.05$). No significant differences were observed for the different light-curing protocols in the degree of conversion, degree of softening in ethanol, and wear produced by the ACTA method ($p > 0.05$). For the toothbrush abrasion test, irradiation with the light emitting diode unit for 40 seconds at 300 mW/cm² resulted in higher wear than the other light-curing protocols ($p < 0.05$). No significant differences were detected at the one-year clinical follow-up of the resin composite restorations submitted to the various light-curing protocols investigated in this study ($p > 0.05$).

Keywords: Composite resins. Light. FTIR. Hardness. Dental restoration wear. Clinical trials.